MR 212

# LITHIUM

## AN IMPORTED MINERAL COMMODITY

86-06527/

MINERAL BULLETIN MR 212

# LITHIUM

## AN IMPORTED MINERAL COMMODITY

1986

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Minister of Supply and Services Canada 1986

Available in Canada through

Authorized Bookstore Agents
and other bookstores

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

Catalogue No. M38-2/212
ISBN 0-660-53350-2

Canada: $7.50
Other countries: $9.00

Price subject to change without notice

Published under the authority of the
Minister Energy, Mines and Resources Canada

## FOREWORD

Producing some 60 mineral commodities, Canada ranks third in the world - after the United States and the U.S.S.R. - in value and diversity of mineral production and is the world's foremost exporter of minerals. Canada enjoys a privileged position not only because of the substantial mineral resources within its borders but also because it has the ability to produce most of its own mineral requirements.

It may therefore come as a surprise to many Canadians that the value of annual imports of mineral and mineral-based products amounts to several billion dollars. Some of these products, such as iron ore and various industrial minerals, are also mined in this country; others, such as bauxite, chromium, manganese, and phosphate rock, are not.

To determine Canada's vulnerability to shortages in supply of a particular imported mineral product, answers must be sought to questions such as:

- In what countries does the given mineral product originate?
- What routes does it follow in coming to Canada?
- How vulnerable is this supply chain to political or other disruptions?
- How much of the mineral product is used to produce what?
- Are there alternative sources of supply?
- What are the substitute materials that can be obtained domestically or from other countries?
- What actions would be required to obtain this mineral product from another source or to use a substitute?
- In summary: to what degree is Canada's future supply at risk for the mineral product in question and what should be done about it now?

This report on LITHIUM - a mineral used in Canada mainly as an additive in the production of aluminum metal from alumina and as a component of multi-purpose greases - looks at one of the relatively few raw materials for which Canada is currently almost totally dependent on imports. It is the sixth in a series aimed at assessing possible future

problems in obtaining supplies of selected non-fuel minerals, to provide background information for government policy, which might involve such actions as guiding research that could lead to less dependence on external sources. The general topic of strategic minerals is addressed by R.J. Shank in "Canada's Dependence on Imported Minerals and Metals - The Issues", Mineral Policy Sector Internal Report MRI 81/7.

The following individuals in the Department of Energy, Mines and Resources cooperated in the preparation of this report: Dr. T. Malis, Canada Centre for Mineral and Energy Technology; Dr. W.D. Sinclair, Geological Survey of Canada; and M.A. Boucher, T.C. Newman, and Dr. J. Zwartendyk of the Mineral Policy Sector.

The study was coordinated by Dr. A.B.T. Werner of the Resource Evaluation Division, Mineral Policy Sector.

Ron R. Sully
Assistant Deputy Minister
(Mineral Policy)

TABLE OF CONTENTS


| | Page |
|---|---|
| **PART I. FORMS AND USES** | 1 |
| Lithium Concentrates | 1 |
| Lithium Chemicals | 2 |
| Lithium Metal and Alloys | 5 |
| References | 9 |
| **PART II. CANADA'S SOURCES OF LITHIUM PRODUCTS** | 11 |
| A. Domestic Production | 11 |
| B. Sources of Imports | 11 |
| References | 14 |
| **PART III. WORLD RESERVES, PRODUCTION AND SUPPLY CAPABILITY** | 15 |
| Lithium Minerals and Compounds | 15 |
| i) World Reserves | 15 |
| ii) World Production | 15 |
| iii) World Supply Capability | 17 |
| Lithium Chemicals | 19 |
| Lithium Metal and Alloys | 19 |
| References | 21 |

Page

**PART IV. POTENTIAL FOR LITHIUM PRODUCTION IN CANADA** 23

Lithium Deposits 23

Lithium Chemicals 25

Lithium Metal 25

References 26

**PART V. SUBSTITUTE MATERIALS** 27

References 27

**PART VI. SUMMARY** 28

Canadian Uses 28

World Supply 29

Canada's Current Sources of Supply 30

Potential for Lithium Production in Canada 30

Substitutes 31

**PART VII. CONCLUSIONS** 32

**APPENDICES**

1. Prices of Selected Lithium Chemicals, February 1986 33

2. Canadian Customs Tariffs on Imported Lithium Materials 34

Page

3. Country by Country Reviews 35

Argentina 35
Australia 35
Bolivia 35
Brazil 35
Chile 36
China 36
France 36
Japan 37
Namibia 37
Netherlands 37
Portugal 37
U.S.S.R. 37
United Kingdom 38
United States 38
West Germany 39
Zaire 39
Zimbabwe 39

4. General References 42

## TABLES

1. Principal Lithium Minerals 1

2. Formulae and Lithium Content of Some Lithium Chemicals 3

3. Non-rechargeable Lithium Batteries and Their Uses 7

4. Imports of Lithium Chemicals, 1984 and 1985 12

5. World Reserves 15

6. World Mine Production of Lithium, by Country, 1984 and 1985 17

7. Principal Producers of Lithium Minerals and Compounds 18

8. Principal Producers of Lithium Metal and Aluminum-lithium Alloys in the Western World 20

9. Principal Lithium Deposits in Canada 24

Page

## FIGURES

1. Canada, Imports of Lithium Carbonate and Hydroxide, 1976-1985 13

2. Chile: The Lithium Operation at Salar de Atacama 16

## PART I. FORMS AND USES

Lithium, the lightest of the metals and one with the highest electrical potential when used in batteries, has excellent prospects for growth in consumption in the late-1980s and early-1990s. As outlined below, Western World industry uses lithium in several forms: lithium mineral concentrates, lithium chemicals, and lithium metal and alloys. No figures are published on the Canadian consumption or exports of any lithium materials.

Lithium mineral concentrates are used in the manufacture of shock-resistant glass and ceramics and for making lithium chemicals.

Lithium chemicals, which confer resistance to water and to high temperature, are estimated to be present in over half of the multi-purpose greases used in military, industrial, automotive and marine applications; lithium carbonate is used in the production of aluminum metal from alumina; and butyllithium, a carbon-lithium compound, acts as a catalyst in the manufacture of synthetic rubber.

Significant new uses for lithium metal have developed such as in anodes in batteries and in lightweight alloys for aircraft frames.

### Lithium Concentrates

Lithium is a constituent of many naturally occurring compounds. However, on a worldwide basis, only a few minerals found in pegmatites are commercially exploited for it, notably spodumene, petalite, amblygonite, and lepidolite (Table 1). Significant amounts of lithium are also recovered from brines rich in lithium chloride, notably in Chile.

**Table 1**

**Principal Lithium Minerals**

| Mineral | Formula | Theoretical lithium content (per cent Li) | Approximate range of Li in commercial mineral (per cent Li) |
|---|---|---|---|
| Spodumene | $Li_2O.Al_2O_3.4SiO_2$ | 3.73 | 2.6 - 3.0 |
| Petalite | $Li_2O.Al_2O_3.8SiO_2$ | 2.26 | 1.4 - 2.2 |
| Amblygonite | $LiAl(PO_4)(F,OH)$ | 4.73 | 3.7 - 4.2 |
| Lepidolite | $K_2Li_3Al_3(AlSi_3O_{10})_2(O,OH,F)_4$ | variable | 1.4 - 1.9 |

Source: J.E. Ferrell, "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 3.

Spodumene is by far the most important source of lithium. In North Carolina, typical ores running 20 per cent spodumene (0.7 per cent Li) are upgraded by froth flotation to 80 per cent spodumene concentrates. Some lepidolite concentrates are also produced by this method. All of the commercial lithium minerals are found in large enough crystal aggregates to allow them to be sorted by hand; hand cobbing for petalite, amblygonite, and lepidolite is still practiced in Brazil, Namibia and Zimbabwe.

Natural underground brines containing 0.023 per cent Li in Nevada and 0.14 per cent Li in Chile are upgraded by solar evaporation to, in the Chilean instance, some 3.5 per cent Li.

Most lithium minerals can be used for more than one purpose: as natural fluxes for glass and ceramics and to make chemicals or lithium metal. Some ore concentrates are sufficiently pure to be usable directly, after grinding, in glass and in black and white television tubes, in photochromic lenses and in ceramic mixtures. Canadian glass producers do not use lithium materials, but Canadian ceramic producers such as Chicago Vitreous (Canada) Limited of Ingersoll (Ontario) and Ferro Industrial Products Limited of Oakville (Ontario) use some 350 tpy of these materials in certain formulations for vitreous enamels.

Lithium materials for use in ceramics should be low in iron oxides. Spodumene, the most commonly mined lithium mineral, is accordingly sold in three grades: "chemical grade" containing about 2 per cent $Fe_2O_3$; "ceramic grade" containing about 1 per cent $Fe_2O_3$; and "low-iron ceramic grade" with 0.1 per cent $Fe_2O_3$[1]. Most spodumene sold is chemical grade, which is converted to lithium carbonate close to its place of extraction.

In December 1985, the world price of commercial spodumene, which depends upon its $Li_2O$ content (between 4 and 7 per cent), ranged from $Cdn 375 to $Cdn 475 per tonne. Petalite, with a $Li_2O$ content of 3.5 to 4.5 per cent and ground to below 200 mesh[2], cost $375 per tonne.

Up to 25 per cent of world output of lithium concentrates and compounds is sent to the glass and ceramic industries in mineral concentrate form. The bulk is converted to lithium carbonate, lithium hydroxide or lithium chloride in plants located near the mining or extraction operations.

**Lithium Chemicals**

Most lithium is traded and used in the form of chemicals (Table 2), notably lithium carbonate and lithium hydroxide.

Lithium carbonate is a raw material for the production of lithium hydroxide, lithium chloride and other lithium chemicals. High-purity grades are used to make drugs for the treatment of manic-depressive

**Table 2**

**Formulae and Lithium Content of Some Lithium Chemicals**

| | Lithium (per cent) | Main End-uses |
|---|---|---|
| Butyllithium | 10.83 | Catalyst for synthetic rubber production |
| Lithium bromide | 8.0 | Catalyst, sedative, heat exchange fluid in air-conditioning |
| Lithium carbonate | 18.8 | In production of aluminum, in ceramics and in glass |
| Lithium chloride | 16.3 | To make lithium metal, welding and brazing fluxes, dehumidifier |
| Lithium fluoride | 26.8 | In production of aluminum, welding and brazing fluxes |
| Lithium hydroxide monohydrate | 16.5 | To make lithium soaps/ greases |
| Lithium hypochlorite | 11.89 | Bleach, sanitizing agent for food processing |
| Lithium stearate | 2.39 | High-temperature resistant and water-resistant greases |

Source: J.E. Ferrell, "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 3.

disorders. Lithium carbonate finds wide applications in the glass and ceramic industries and the production of aluminum metal.

The aluminum industry uses lithium carbonate or lithium chloride as an optional additive in the production of aluminum metal from alumina. Addition of a lithium salt to the cryolite bath during electrolysis improves conductivity and overall cell performance. Less vapour is produced so that fluorine losses and emissions are lowered. The use of lithium does, however, increase the need for careful process control and introduces small amounts of lithium into the aluminum metal which causes problems with its colour and with joining in certain metal applications[3].

Most lithium carbonate, the lithium compound used in the largest volume in Canada, goes into the production of aluminum metal from alumina; some is used to make ceramics. The requirements of lithium carbonate of both the Canadian Reynolds Metals Company, Limited and, in some of its plants, the Aluminum Company of Canada, Limited (Alcan), are estimated to account for at least 75 per cent of Canada's imports of 1 250 tpy of this material.

Lithium hydroxide-monohydrate is the basis for the manufacture of multi-purpose lithium greases that are made by combining it with a mixture of 12-hydroxystearic acid (derived from castor beans) and lubricating oils. With import levels of some 140 tpy, it is Canada's second most important lithium import. In 1983, lithium-based multi-purpose greases, made by companies such as Pennwalt Inc. of Oakville (Ontario), Battenfeld Grease Canada Ltd. of Toronto, and Shell Canada Limited, of Montreal, accounted for almost 70 per cent of greases produced in Canada[4].

Lithium chloride, usually derived from lithium carbonate or lithium hydroxide, is the starting material for the production of lithium metal. The hygroscopic properties of lithium chloride make it attractive as a dehumidifier in air conditioners. It is also used in welding fluxes and brazing solders for joining metals.

Lithium fluoride is used as an ingredient of fluxes for welding aluminum; it can be used instead of aluminum carbonate in smelter potlines.

Normal butyllithium, an organolithium (carbon-lithium) compound, is used as a catalyst in the production of synthetic rubbers (styrene-butadiene, butadiene and isoprene[5]). Significant emerging uses for organo-lithium compounds are in the synthesis of species-specific pesticides, Vitamin A, and pharmaceuticals for viral infections and coronary disease[6].

Various lithium salts are added to the electrolytes of certain battery systems; these are being investigated by the Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ).

Lithium niobate, whose optical properties can be altered by exposing it to a magnetic field, is being tested for use as a switching agent in the latest optical fibre telecommunication systems[7].

**Lithium Metal and Alloys**

Lithium metal, which is available commercially in a variety of forms such as ingot, shot, ribbon, wire, and rod and as a dispersion in mineral oil, finds growing applications in batteries and in aluminum-lithium alloys. It is the starting point for the manufacture of such lithium materials as: lithium bromide (used in large-scale air-conditioning and refrigeration units), lithium amide (a combination of lithium metal, hydrogen and ammonia, used in the synthesis of antihistamines) and organolithium compounds[8]. Lithium metal is also used, in Canada as well as in other parts of the world, to remove oxygen and sulphur from high-conductivity copper castings and from brasses.

The metal is produced by the electrolysis of a mixture of lithium chloride (made from lithium carbonate) and potassium chloride. It takes 6 t of lithium carbonate and some 62 000 kWh of electricity to produce one tonne of metal from the mixture. To prevent surface deterioration it is stored under mineral oil. In February 1986, the U.S. quoted price for lithium metal ingot was equal to $Cdn 75 per kg and the quoted price for lithium metal rod was in the $Cdn 94-104 range[9]. Battery grade ingot costs some $Cdn 107 per kg. Prices for lithium foil are in the $Cdn 160-190 range.

**Lithium in Aerospace Alloys.** Because lithium is the lightest of metals, having a density less than one fifth that of aluminum, it has long been viewed as a potential alloying addition to aluminum for weight saving in aerospace alloys. In addition, its presence in such alloys produces an increase in elastic modulus which results in a beneficial increase in rigidity.

Fracture considerations limit the maximum addition of lithium to about 2.5 per cent. Accordingly, aluminum-lithium alloys are generally designed to achieve, with a nominal composition of 2 per cent lithium, weight reductions of 10 per cent and 10 to 15 per cent improvements in rigidity, compared to aluminum alloys customarily used in aircraft manufacture, somewhat less compared with the latest varieties.

Aluminum-lithium and aluminum-lithium-manganese alloys were fabricated as early as the 1950s, but combinations of poor strength, low ductility and tendency to fracture severely limited their use. Recent improvements in ingot casting techniques have overcome the difficulties caused by the extreme reactivity of molten aluminum-lithium to the water normally used for cooling the ingot and the major aluminum producers have announced commercial production of a new generation of aerospace alloys based on variations of an aluminum-lithium-copper-magnesium-zirconium composition.

Initial tests indicate that aluminum-lithium alloys have superior mechanical properties to non-lithium alloys particularly in regard to growth rates of fatigue cracks. Aluminum-lithium alloys have good fabricability, offering even the possibility of superplastic forming (forming parts with considerable ease) and adequate corrosion resistance and weldability.

The new alloys are now available in the forms of both medium- and high-strength alloys designed to be direct substitutes for present non-lithium alloys, so as to avoid the cost of purchasing new tools to make aircraft parts. It is estimated that use of aluminum-lithium parts could enable a plane to carry a 6 per cent larger payload or save 6 per cent in fuel costs[10].

Second and third generation alloys, perhaps produced via rapid solidification techniques, are slated to appear in the 1990s. By the end of the century, aluminum-lithium alloys could conceivably capture as much as 30 per cent of the aerospace alloy market, countering the incursion of nonmetallic composites into this field.

No aluminum-lithium alloys are known to have been used so far in aircraft manufacture in Canada. Any aluminum-lithium alloys or parts used in the future by Canadian aircraft manufacturers are, at least initially, likely to be imported from foreign suppliers such as British Alcan Aluminium Limited, the Aluminum Company of Canada's subsidiary located near Birmingham, England.

**Lithium in Batteries.** A battery, a device that converts chemical energy into electrical energy, basically is a cell consisting of two electrodes - an anode and a cathode - immersed in a liquid or a solid electrolyte.

There are two main categories of batteries: non-rechargeable and rechargeable. Non-rechargeable batteries, those used in flashlights for example, must be able to retain their power through long periods of non-use. Some rechargeable batteries, such as those used in submarines, are constantly discharged and recharged; others, such as car batteries, are required to produce bursts of power over short periods of time; others yet, such as those used in marine buoys, need to be able to deliver low power over long periods.

Lithium batteries, which consist of lithium or lithium alloy anodes combined with a variety of cathodes and electrolytes, some of which also contain lithium salts, are important because of their longer shelf lives, wider operating temperature ranges and higher cell voltages (Table 3). Present varieties of small (A to AA size) batteries contain up to 3 grams of lithium metal per unit[11].

Lithium/sulphur dioxide batteries offer greater power and longer shelf life than do conventional ones, as do the lithium/thionyl chloride kind. Both systems find applications in cold remote locations. The U.S. Army, which has tested lithium/sulphur dioxide batteries in Alaska, is buying them, instead of magnesium batteries[12], for use in radio sets.

Lithium batteries with medium-power and shelf lives of up to several years include the lithium/manganese dioxide and lithium/carbon monofluoride varieties. These have uses in electronic equipment.

Table 3

Non-rechargeable Lithium Batteries and Their Uses

| Cathode Material | Typical Discharge Rate | Operating Voltage (V) | Temperature Range (°C) | Form | Uses |
|---|---|---|---|---|---|
| Sulphur dioxide (liquid) | high | 2.8 | -55° to +75° | Cylinders, large cells | Military, transceivers, sonobuoys and communications equipment |
| Thionyl chloride (liquid) | high | 3.5 | -55° to +75° | Large coins, cylinders, large cells | Remote military and commercial equipment, large memories |
| Manganese dioxide (solid) | medium | 3.0 | -20° to +55° | Coins, cylinders | Watches, calculators, CMOS[1] memories |
| Carbon monofluoride (solid) | medium | 2.7 | -20° to +55° | Coins, cylinders | Watches, calculators, CMOS[1] memories |
| Copper oxide (solid) | medium | 1.7 | -55° to +125° | Large coins, cylinders | Large CMOS[1] memories |
| Iodine (solid) | low | 2.8 | -55° to +125° | Small coins | Pacemakers, small CMOS[1] memories |

Source: J.G. Posa, "Lithium-based Batteries: Charged and Ready to Back up CMOS Systems". Electronic Design, Vol. 33, No. 6, March 14, 1985.

[1] Complementary metal oxide semiconductor.

Low-powered, button-sized lithium batteries with long shelf lives are used in heart pacemakers. A new generation of lithium/copper oxide and lithium/copper oxyphosphate batteries, with shelf lives of well over a decade, is reportedly under development[13].

Moli Energy Limited[14] of Burnaby, British Columbia, which is now producing 4,000 lithium/molybdenum disulphide batteries a month from a pilot plant using only an estimated tens of kg of lithium, is a world leader in rechargeable lithium battery technology. The company plans to build a plant capable of producing 33.6 million penlight batteries a year, using some 35 t of lithium metal by 1990, with output to begin in the first part of 1987[15].

An investigation into the possibility of using this technology for the production of batteries to be used in electric vehicles concluded that it would be suitable for that purpose if further improvements were made[16]. The Electrofuel Manufacturing Company located in Toronto is involved in the development of a lithium-aluminum/iron sulphide battery for use in vehicles[17]. Rechargeable batteries, with lithium metal or alloy anodes, titanium disulphide, molybdenum dioxide or vanadium pentoxide cathodes and lithium salt-bearing polymer electrolytes, are being investigated by Hydro-Québec[18].

**Lithium as a Source of Energy.** Eventually, the largest single use of lithium, and the one which has led to the element being called "strategic", may be in thermonuclear power plants, in which energy would be produced as a result of the controlled fusion of deuterium and tritium, the two heavy isotopes of hydrogen[19], in the reactor's core. The tritium fuel would be obtained from the neutron bombardment of lithium (apparently this is the simplest, but not the only, means of making tritium in quantity).

Natural lithium consists of two isotopes: $^{6}Li$ (92.6 per cent) which, if bombarded with neutrons, will produce tritium with the **release** of energy,and $^{7}Li$ (7.4 per cent) which, if it is subjected to the same treatment, will produce tritium and neutrons with the **absorption** of energy.

Depending on the degree of enrichment in $^{6}Li$, lithium metal (or various lithium salts and compounds) can be used either to breed tritium or, in the form of a blanket around the reactor's core, to absorb the heat of the fusion reaction.

According to one reactor design, molten natural lithium metal would serve both as a source of tritium and as a coolant. In another suggested method[20], the blanket would consist of 90 per cent $^{6}Li$ while gas would be used to remove the heat of the reaction.

The future demand for lithium in fusion power reactors is impossible to predict because the quantity required will depend upon the reactor concept chosen and the degree to which fusion reactors replace conventional plants in electric power generation. Depending on the reactor design selected, 40 to 400 t of natural lithium would be required per gigawatt of installed fusion capacity. Annual replacement requirements due to burn up and recycling losses would range from 0.1 to 50 t.

Commercial fusion technology is unlikely to emerge before the year 2010, but experimental fusion reactors with a total production capacity of 1 gigawatt may be in place in the world by that time.

Any tritium now required for experimental work on fusion in Canada is obtained from Candu nuclear reactors, but no lithium is used in this case.

**References**


1. J.E. Ferrell, "Lithium"; a Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 edition, p. 2.

2. Staff, "Prices", Industrial Minerals, No. 219, December 1985, p. 101.

3. C.T.P. Vergos, "Lithium - A Commodity Study", M.Sc. Thesis, Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Queen's University, 1982, p. 11.

4. National Lubricating Grease Institute, "Production, Markets and Shipment Survey for Calendar Year 1983", in press.

5. R. Bach and J.R. Wasson, "Lithium and Lithium Compounds", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology; Third Edition, 1981, Vol. 14, p. 468.

6. Lithium Corporation of America, "Lithium Technology", 1983, n.p.

7. Staff, "Optical Fibres Straddle the Globe", The Economist, Vol. 298, No. 7438, March 22, 1986, p. 85.

8. A.E. Schreck, "Lithium: A Materials Survey"; U.S. Bureau of Mines Information Circular 8053, p. 8.

9. Staff, "Light Metals: Lithium, Weekly Prices, Week Ended February 7, 1986", Metals Week, Vol. 57, No. 6, February 10, 1986, p. 5.

10. F. Haflich, "Aluminum-Lithium Alloys' Debut Nears", American Metal Market, Vol. 94, No. 47, March 10, 1986, p. 6A.

11. R. Marshall, "Lithium: Growth Outlets", Australian Mining, Vol. 76, No. 8, August 1984, p. 14.

12. United States, General Accounting Office, "Report to the Chairman, Committee on Armed Services, U.S. Senate"; Army's Procurement of Batteries: Magnesium Vs Lithium", p. 1.

13. M.J. Brennan, "Why Are There So Many Batteries?", Design News, June 3, 1985, p. 118.

14. D. Climenhaga, "Firm Finds Battery has Drawing Power", The Globe and Mail, March 13, 1986, p. B-15.

15. P. O'Neil, "$25 Million Sought for Battery Plant", Vancouver Sun, January 16, 1986, p. F-2.

16. Moli Energy Limited, "Development and Testing of a Large Lithium Molybdenum Disulfide Battery", Canadian Electrical Association Research Report 313, Vol. 416, p. iii.

17. J.L. Hopkins, "Canadian Metallurgical News: Lithium Batteries", CIM Bulletin, Vol. 78, No. 875, p. 137-138.

18. Institut de Recherche d'Hydro-Québec, "Rapport d'activité 1984", n.p.

19. G.M. Halpern, "Fusion Energy", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", Third Edition, 1980, Vol. 11, p. 590-603.

20. J.E. Ferrell, op. cit., p. 9.

## PART II. CANADA'S SOURCES OF LITHIUM PRODUCTS

### A. Domestic Production

Between 1955 and 1965, the Quebec Lithium Corporation produced over one million t of spodumene ore at its mine at Lacorne, Quebec. Most was sent to the Lithium Corporation of America's plant at Bessemer City, North Carolina, where lithium hydroxide monohydrate was being produced for the U.S. Atomic Energy Commission for use in studies of nuclear fusion. After the fulfillment of the last AEC contract for lithium in 1960, the U.S. lithium industry experienced a severe downturn in demand, and in 1961 the Lithium Corporation of America terminated the contract that it had with Quebec Lithium for the supply of spodumene. Quebec Lithium then began to produce lithium carbonate and lithium hydroxide but closed its operations because of low prices for lithium chemicals[1]. After the 1965 closure, no lithium minerals were produced in Canada for almost twenty years.

In May 1984, the Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) started production, on a semi-commercial scale, of ceramic-grade spodumene at Bernic Lake, Manitoba. The first phase of the company's construction program for a commercial concentrate plant was concluded in March 1986, with output capacity exceeding 1 000 t of product per month.

Virtually all current output from Bernic Lake is exported to foreign consumers who have determined that TANCO's product is particularly suitable for their requirements. The Canadian ceramics industry, most of which is located in Ontario, continues to obtain its relatively small needs of a few hundred tpy of spodumene from imports.

No lithium chemicals are manufactured in Canada in any quantity, but some lithium stearate is produced as part of the process of making greases from a mixture of lithium hydroxide monohydrate, 12-hydroxystearic acid and lubricating oils.

There are no plants in Canada for making lithium metal or aluminum-lithium alloys.

### B. Sources of Imports

No precise information has been published on Canadian imports of lithium mineral concentrates. In 1985, Amalgamet Canada, of Toronto, sales agent for Greenbushes Tin Limited of Perth, Australia, landed several thousand t of high-grade Australian spodumene at Thorold, Ontario, where Amalgamet has established a distribution centre for North America.

All of Canada's requirements for primary lithium chemicals are imported, primarily from the United States (Table 4 and Fig. 1). In 1985, lithium carbonate accounted for over 85 per cent of both the volume and the value of Canadian imports of lithium chemicals. The two key producers of

**Table 4**

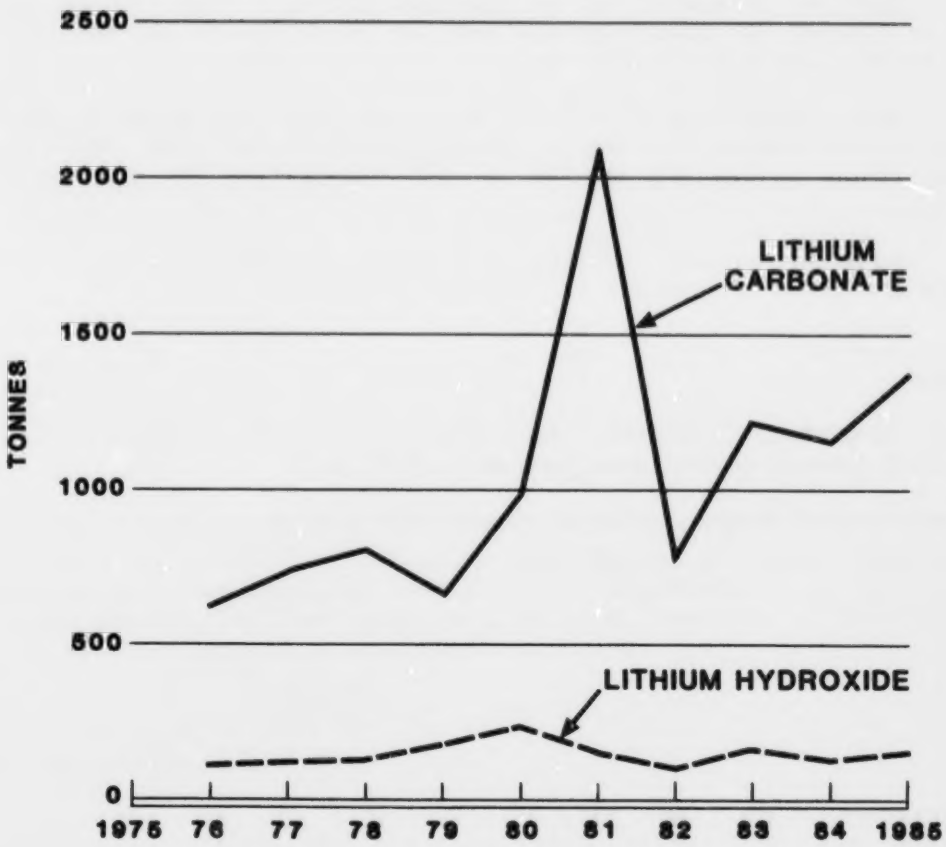
**Imports of Lithium Chemicals, 1984 and 1985**

| | 1984 | | 1985 | |
|---|---|---|---|---|
| | (tonnes) | ($000) | (tonnes) | ($000) |
| Lithium carbonate | | | | |
| United States | 1 152 | 5,141 | 1 293 | 6,175 |
| Chile | - | - | 82 | 367 |
| West Germany | - | - | 1 | 9 |
| Yugoslavia | * | 4 | - | - |
| United Kingdom | * | * | - | - |
| Total | 1 153 | 5,146 | 1 375 | 6,552 |
| Lithium hydroxide | | | | |
| United States | 77 | 371 | 133 | 688 |
| China | 52 | 232 | 17 | 85 |
| United Kingdom | - | - | * | 1 |
| Total | 129 | 603 | 150 | 774 |
| Lithium chloride | | | | |
| United States | 23 | 86 | 28 | 142 |
| United Kingdom | * | * | * | * |
| Total | 23 | 86 | 28 | 143 |
| Lithium salts of inorganic acids, nes | | | | |
| United States | 16 | 95 | 15 | 79 |
| United Kingdom | 1 | 4 | 2 | 5 |
| Australia | * | 1 | 1 | 4 |
| Total | 17 | 100 | 17 | 87 |

Sources: Energy, Mines and Resources Canada; Statistics Canada.
* Less than 500 kg in weight or $500 in value; - Nil; nes Not elsewhere specified.

Figure 1

# CANADA, IMPORTS OF LITHIUM CARBONATE AND HYDROXIDE 1976-1985



lithium chemicals are Foote Mineral Company, Exton, Pennsylvania, and Lithium Corporation of America, of Bessemer City, North Carolina. In 1985, shipments from a new operation in Chile, owned by a subsidiary of Foote Mineral Company, made up 6 per cent of Canada's imports of lithium carbonate. This Chilean material is recovered from brines at Chépica del Salar to the east of Antofogasta and sent to a lithium chemicals plant at La Negra. A granulator to produce a special product for the aluminum industry was installed at this plant in late-1984[2]. Shipments of lithium carbonate are sent by sea to ports in Quebec.

Other countries such as China (lithium hydroxide) and the United Kingdom (various lithium salts of inorganic acids) have also supplied lithium chemicals to Canadian consumers.

Chemical products may be imported directly from foreign producers, or through Canadian importers such as Canada Colors and Chemicals, Limited or Phillipp Brothers (Canada) Ltd., both of Toronto.

Small quantities of lithium metal are imported, probably mostly from the United States, for use in battery manufacture. Any imports of aluminum-lithium alloys are limited to small quantities for experimental purposes.

Canadian customs tariffs applicable to the various lithium materials are given in Appendix 4.

**References**

1 R.H. Singleton, "Lithium", Washington, D.C., U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Profiles, September 1979, p. 3.

2 Foote Mineral Company, "Annual Report 1984", p. 4.

## PART III. WORLD RESERVES, PRODUCTION AND SUPPLY CAPABILITY

### Lithium Minerals and Compounds

i) World Reserves

Practically all Western World reserves are located in Chile, the United States and Australia (Table 5). Figures represent the lithium content of presumably exploitable material that is reasonably well known. No information is available on the lithium reserves of the People's Republic of China or on those of the U.S.S.R. Huge salt deposits in Bolivia such as the Salar de Uyuni (Figure 2) are reported to contain almost three times the total amount of Western World reserves of lithium, but, to date, these Bolivian deposits have not been considered to be profitably mineable and therefore they do not qualify as reserves.

**Table 5**

**World Reserves[1]**

| | Tonnes of lithium content | Per cent of reported total |
|---|---|---|
| Chile | 1 270 000 | 66.0 |
| United States | 360 000 | 19.0 |
| Australia | 270 000 | 14.0 |
| Zimbabwe | 20 000 | 1.0 |
| Total | 1 930 000[2] | 100.0 |

Source: J.E. Ferrell, "Lithium", U.S. Bureau of Mines Preprint from "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", Bulletin 675, p. 3.
[1] China and U.S.S.R. have never reported their reserves. [2] Data do not add to total shown because of independent rounding.

ii) World Production

In 1985, the four countries with the largest production, the United States (56%); the U.S.S.R. (20%); Chile (11%) and China (6%), accounted for over 90 per cent of the 8 100 t (lithium content) of world output of lithium minerals (Table 6). The United States produced 80 per cent of Western World output and Chile 16 per cent.

Figure 2

# CHILE: THE LITHIUM OPERATION AT SALAR DE ATACAMA

**Table 6**

**World Mine Production of Lithium[1], by Country, 1984 and 1985**

| | 1984 | 1985 |
|---|---|---|
| | (tonnes of contained lithium) | |
| United States | 4 450[2] | 4 500[2] |
| U.S.S.R.[e] | 1 633 | 1 633 |
| Chile | 481 | 907 |
| China[e] | 454 | 454 |
| Australia[e] | 212 | 272 |
| Zimbabwe | 159 | 181 |
| Canada | - | 136 |
| Namibia[e] | 14 | 14 |
| Brazil | 10 | 9 |
| Total | 7 400 | 8 100 |

Source: J.E. Ferrell, "Lithium", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1986", p. 93.
[1] Including production from brines. [2] EMR estimate of U.S. production.
[e] Estimate. China and U.S.S.R. have never reported their output.

In 1986, world output of lithium raw materials was well below supply capacity.

iii) World Supply Capability

Most (60 per cent) of current world production capability is in the United States, through two companies, Foote Mineral Company with a spodumene mining operation in North Carolina and a brine recovery plant in Nevada, and the Lithium Corporation of America (Lithco), with a spodumene mine in North Carolina. Each accounts for half of U.S. output capacity. The U.S.S.R., China, Australia and Zimbabwe have noteworthy production capability as well (Table 7).

In 1985, pegmatite mines accounted for some 70 per cent of the Western World's production capacity of 8 500 tpy (lithium content); generally less expensive operations involving the pumping out and solar evaporation of brines accounted for the rest, and for all of Chile's production capability.

Up to 25 per cent of world output of lithium concentrates and compounds is sent to the glass and ceramic industries in mineral concentrate form. The bulk is converted to lithium carbonate, lithium hydroxide or lithium chloride in plants located near the mining or extraction operations.

Country by country reviews of supply capability are given in Appendix 3.

Table 7

**Principal Producers of Lithium Minerals and Compounds**

| Country | Company | Product | National Production Capacity (1985-86) (lithium content, tonnes) |
|---|---|---|---|
| United States | Foote Mineral Company: | | 2 900 |
| | a) Kings Mountain, NC (1 540 tonnes)[1] | Spodumene | |
| | b) Silver Peak, NV (1 360 tonnes)[1] | Lithium carbonate from Li-rich brine | |
| | Lithium Corporation of America, Bessemer City (3 070 tonnes)[1] | Spodumene | 3 070 |
| | | | 5 970[2] |
| Chile | Sociedad Chilena de Litio, Ltda. (Foote Mineral/CORFO) Salar de Atacama | Lithium carbonate from Li-rich brine | 1 200[1] |
| U.S.S.R. | | - | 1 020 |
| China | | - | 680 |
| Australia | Greenbushes Tin Limited, Bunbury, Western Australia | Spodumene | 510[1] |
| Zimbabwe | Bikita Minerals (Pvt.) Ltd., Glen Clova, near Fort Victoria | Petalite and spodumene | 380 |
| Canada | Tantalum Mining Corporation of Canada Limited, Bernic Lake, Manitoba | Spodumene | 360+[1] |
| Brazil | Arqueana de Minérios e Metais Ltda., Araçuai-Itinga District, Minas Gerais | Petalite, amblygonite, spodumene, lepidolite | 50 |
| **World Total** | | | **10 200**[3] |

Source: M. Coad, "Lithium Production in Chile's Salar del Atacama", Industrial Minerals, No. 205, p. 27.

[1] Estimated company capacity. [2] Total for the United States. [3] Rounded.

Chile, which only began producing lithium - from brines - in 1984, is still well behind the United States in production ability, but may overtake it in the next decade. Its present capacity is owned by the Sociedad Chileno de Litio Ltda., a joint venture between Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO), a Chilean government agency, and the Foote Mineral Company whose operation is in the Atacama desert to the east of Antofogasta (Figure 2).

Foote Mineral Company has found that its least expensive lithium is obtained from brines. Accordingly, at the beginning of 1986, output from its North Carolina spodumene mining operation was restricted to a maximum of 45 per cent of capacity while production from its Chilean venture was at 70 per cent of capacity and from its Nevada brine operation at 75 per cent[1].

An additional Chilean project planned by Sociedad Minera Salar de Atacama, a joint venture between AMAX Inc. of the United States and CORFO to extract potassium, boron and lithium from brines in the northern part of the Salar de Atacama (Figure 2), will - if it proceeds as intended - radically alter the world lithium production scene. A suggested initial output level of 2 800 tpy of lithium in brine in 1990 would be equivalent to about a third of total world output of lithium in 1985 (Table 6). The relatively simple process of recovering lithium from brines would permit raising production levels (which are controlled by Chile's Nuclear Energy Commission) by 7 per cent per year to an estimated 13 700 tpy of lithium, or 170 per cent of 1985 world production, not long after the year 2010.

**Lithium Chemicals**

Most lithium is produced and traded in the form of lithium carbonate and lithium hydroxide. Western World production capacity of primary lithium chemicals amounts to some 38 000 t of lithium carbonate equivalent, whereas Western World consumption of lithium in all forms amounted only to some 29 500 t in 1985[2]. The United States, western Europe and Japan are all considered to have adequate production capabilities for making other chemicals from lithium carbonate. Australia, which is at present considering the production of lithium carbonate from spodumene, could also come to develop a domestic chemical industry.

**Lithium Metal and Alloys**

Almost no information is published on lithium in metal form. Western World producers' joint capacity to produce lithium metal is probably in the order of 600 tpy. In recent years, some 80 tpy has been used in battery production. The plants producing the metal in the west (Table 8), one of which, Métaux Spéciaux S.A. of France, has an output capacity of as little as 25 tpy, are all located in industrialized countries and associated with one of four corporate groups: Foote Mineral, Lithco, Metallgesellschaft or Péchiney. No published information is available on lithium metal production capacity or output in China or the U.S.S.R.

**Table 8**

**Principal Producers of Lithium Metal and Aluminum-lithium Alloys in the Western World**

| Country, Company and Location | Capacity (tonnes/year) |
|---|---|
| **A. Lithium metal** | |
| **France** | |
| Métaux Spéciaux S.A. (Péchiney Group), Pomblière-Saint-Marcel, Savoie | 25 (metal/oxide capacity increasing to 200 tpy) |
| **United Kingdom** | |
| Lithium Corporation of Europe (Lithium Corporation of America group), Liverpool | not reported |
| **United States** | |
| Foote Mineral Company Exton, PA | " " |
| Lithium Corporation of America (Lithco), Bessemer City, NC | " " |
| **West Germany** | |
| Chemetall GmbH (Metallgesellschaft AG, group), Langelsheim | " " |
| **Total (est.)** | **600** |
| **B. Aluminum-Lithium Alloys** | |
| **France** | |
| Société Cegedur Péchiney, Issoire, Puy-de-Dôme | 3 500 (alloy by 1987) |
| **United Kingdom** | |
| British Alcan Aluminium Limited, Kitts Green plant, Birmingham | 4 000 (alloy) |
| **United States** | |
| Aluminum Company of America (Alcoa), Pittsburgh, PA | 9 100[e] (alloy) |
| Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, Pleasant, CA | 900[e] (alloy) |
| Novamet Aluminum (Inco Alloys International Ltd. group), Wyckoff, NJ | 22[e] (alloy) |

Sources: Energy, Mines and Resources Canada; "Pechiney to Build Aluminum-Lithium Plant", Metals Week, Vol. 56, No. 19, May 13, 1985, p. 8; "Aluminum-Lithium Goes Commercial", Metal Bulletin Monthly, No. 171, March 1985, p. 72; "Métaux Spéciaux SA", Non-Ferrous Metal Works of the World, 1986 edition, p. 117.

[e] Estimated.

Aluminum-lithium alloys are still being tested by aircraft manufacturers and much of the alloy industry is yet in the research and development stages of casting, rolling and fabricating these alloys.

In contrast to lithium metal production which is largely controlled by lithium mining companies, most aluminum-lithium production facilities have been established by aluminum companies, notably Alcan, Alcoa and Péchiney.

New alloy production facilities have been built in England and France, countries that have important aircraft manufacturing industries. As of March 1986, British Alcan Aluminium Limited of Birmingham, which began casting three different aluminum-lithium alloys on a regular basis in May 1985, was reported to be supplying the market at a rate of about 4 000 tpy[3]. Several hundreds of tonnes of alloys produced by Péchiney of France have been made into semi-fabricated products.

Prospective alloy producers in the United States are well advanced in the research and development stages of casting, rolling and fabricating alloys but have yet to begin commercial production, a fact that is causing some anxiety among their potential customers[4].

Aluminum-lithium components supplied by Cégédur Péchiney are being used in the prototype version of the "Rafale", Avions Marcel Dassault-Bréguet Aviation's new combat aircraft[5]. The A320 Airbus, whose first flight is scheduled for February 1987, will be the first Airbus model to use aluminum-lithium parts, produced by Rohr Industries Inc. of Chula Vista, California[6], in several applications, instead of ones made of conventional alloy[7].

The aircraft manufacturing industry may need, by the end of the century, as much as 60 000 tpy of aluminum-lithium alloys, requiring some 1 200 tpy of lithium metal. The use of these alloys, estimated to cost two to three times as much as aluminum, could increase significantly if the cost of the high-purity lithium needed to make them were to decline. Their successful use in other kinds of transportation equipment could well lead to their production and fabrication in Canada.

**References**

1. Staff, "Foote Follows Lithco Hike", Metals Week, Vol. 57, No. 2, January 13, 1986, p. 3.

2. R.D. Crozier, "Lithium: Resources and Prospects", Mining Magazine, Vol. 154, No. 2, February 1986, p. 149.

3. C.L. Jordan, "Aluminum-lithium Users Concerned About Supplies", American Metal Market, Vol. 94, No. 47, March 10, 1986, p. 1 and 29.

4. Ibid.

5. E.D. Maria, "Rafale Fighter Debut in June", American Metal Market, Vol. 94, No. 47, March 10, 1986, p. 8A.

6. S.L. Jones, "Rohr Develops Method to Perforate Complex, Contoured Composite Parts", American Metal Market, Vol. 94, No. 42, March 3, 1986, p. 1 and 12.

7. Staff, "Lighter Airframes", Air Transport World, Vol. 22, No. 7, July 1985, p. 76.

## PART IV. POTENTIAL FOR LITHIUM PRODUCTION IN CANADA

Canadian users of lithium products are by no means limited to their current sources of supply. For every primary lithium product there are alternative foreign suppliers and potential Canadian sources of production.

### Lithium Deposits

In April 1986, the only lithium deposit being mined in Canada was the Tantalum Mining Corporation of Canada Limited's property at Bernic Lake, Manitoba, where construction work on a new concentrator plant with a production capacity of more than 1 000 t of spodumene per month had just been completed. This deposit is estimated to contain at least 5.9 million t of spodumene grading 2.67 per cent $Li_2O$ (Table 9).

Significant unexploited lithium deposits exist in most parts of Canada, especially in Quebec, Ontario, Manitoba, and the Northwest Territories[1] and 19 of these contain over 1 million t each. Many properties were examined in the 1950s when interest arose in lithium because of its role in achieving thermonuclear fusion.

**Quebec.** The most important currently unexploited lithium resource in Canada is the Sullivan Mines Inc.'s "Quebec Lithium Corporation" deposit in Lacorne township, between Amos and Val d'Or, which contains some 18 million t of material grading 1.3 per cent $Li_2O$ in pegmatite dykes. It was mined between 1955 and 1965, and produced over one million t of ore, mostly for export to the United States. In 1960, a lithium carbonate plant was built at Barraute that used a new process for batch carbonate leaching developed by Quebec's Department of Natural Resources. As neither mine nor mill has operated for over twenty years, any mill or chemical plant equipment still in place would almost certainly need to be replaced. The process methodology has since been further refined by the Department of Natural Resources to allow for continuous rather than batch processing[2].

**Ontario.** Numerous deposits of spodumene are present near Beardmore in the Nipigon district. In the 1950s, Big Nama Creek Mines Ltd. outlined 3.8 million t of material grading 1.06 per cent $Li_2O$ and started development work on a property near Nama Creek[3].

**Manitoba.** In addition to the Tantalum Mining Corporation of Canada Limited's deposit at Bernic Lake near Lac-du-Bonnet in southeastern Manitoba, other deposits are present in the Herb Lake and Cat Lake districts. Small deposits not included under the Bernic Lake - Cat Lake districts in Table 9 are the Buck, Coe and Pegli pegmatite dikes, owned by The Lithium Corporation of Canada, Limited, which contain 726 000 t of material grading 2.13 per cent $Li_2O$.

Table 9

Principal Lithium Deposits in Canada

| Property | Ownership | Tonnage (million tonnes) | Grade (per cent $Li_2O$) | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| **Quebec** | | | | |
| 1. Authier, Preissac-Lacorne district | Société québécoise d'exploration minière (SOQUEM) | 5.8 | 1.14 | Tested to depth of 122 m open at both ends |
| 2. Quebec Lithium Corporation, Lacorne Township | Sullivan Mines Inc. | 18.0 | 1.3 | To 172 m |
| **Ontario** | | | | |
| 3. Jean Lake, Nipigon district | Jean Lake Lithium Mines Limited (in 1981) | 1.5 | 1.3 | |
| 4. Lac la Croix, Lac la Croix district | International Lithium Mining Corporation Limited (in 1976) | 1.4 | 1.2 | |
| 5. Nama Creek, Nipigon district | York Consolidated Exploration Limited (in 1983) | | | |
| a) North zone | | 2.5 | 1.11 | To 305 m |
| b) South zone | | 1.4 | 0.95 | |
| 6. Root Lake, Roadhouse River, Root Lake district | Consolidated Canadian Faraday Limited (in 1970) | 2.0 | 1.3 | |
| **Manitoba** | | | | |
| 7. Violet property, Crowduck Bay, Herb Lake district | H.L. Thompson, Cranberry Portage | 3.0 | 1.2 | |
| 8. Lit, Crowduck Bay, Herb Lake district | J.A. Syme, Winnipeg | 1.8 | 1.4 | Dyke No. 1; to depth of 305 m |
| 9. Irgon property, Cat Lake district | The Lithium Corporation of Canada, Limited | 1.1 | 1.51 | To depth of 183 m |
| 10. Spot property, Cat Lake district: | Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) | | | |
| a) North dike | | 1.4 | 1.25 | To depth of 137 m |
| b) South dike | | 2.3 | 1.3 | To depth of 305 m |
| 11. Bernic Lake | Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) | 5.9 | 2.67 | 5 million t of undiluted; 0.9 million t of other |
| **Northwest Territories** | | | | |
| 12. Ann, 30 miles E of Yellowknife | Magnum Holdings Limited | 3.0 | 1.92 | To projected 152 m |
| 13. Big, 13 miles ENE of Yellowknife | Equinox Resources Ltd. | 7.2 | 1.47 | To projected 152 m |
| 14. FI, Hidden Lake district | Equinox Resources Ltd. | 13.9 | 1.19 | To projected 152 m |
| 15. Jim, Hidden Lake district | | 3.8 | 1.24 | To projected 152 m |
| 16. KI, Hidden Lake district | Equinox Resources Ltd. | 2.6 | 1.40 | To projected 152 m |
| 17. Nite, 9 miles NE of Yellowknife | Equinox Resources Ltd. | 2.3 | 1.51 | To projected 152 m |
| 18. Thor, 70 miles E of Yellowknife | Equinox Resources Ltd. | 8.4 | 1.50 | To projected 152 m |
| 19. VO, 3 miles N of Blaisdell Lake | Equinox Resources Ltd. | 3.1 | 1.48 | To projected 152 m |

Sources: Energy, Mines and Resources Canada, "Canadian Mineral Deposits Not Being Mined in 1983", Mineral Bulletin MR 198, 308 p.; R. Mulligan, "Lithium in Canada", Canadian Mining Journal, Vol. 78, No. 4, April 1957, p. 121-126.

**Northwest Territories.** The Yellowknife district of the Northwest Territories is richly endowed with lithium resources. By the mid-1970s, at least 14 separate pegmatite deposits, ranging in size from 15 000 t at 2.2 per cent $Li_2O$ to 13 900 000 t at 1.19 per cent $Li_2O$, had been identified in an area some 13 to 113 km east of Yellowknife[4]. Eleven of the properties, four of them accessible by all-weather road, are held by Equinox Resources Ltd. of Vancouver.

## Lithium Chemicals

No primary lithium chemicals are currently made in Canada. Considerable amounts of lithium carbonate and lithium hydroxide monohydrate were produced, on a batch basis, at the Quebec Lithium Corporation's former chemicals plant at Barraute near Val d'Or, Quebec, which was started up in 1960 to make these materials. In 1964, facilities were added for the production of lithium chloride[5], an intermediate product in the manufacture of lithium metal, but no chloride was produced before the plant's closure in 1965, for lack of markets.

A new continuous process for the production of lithium carbonate developed in 1976 was tested at pilot plant level by Quebec's Department of Natural Resources[6]. Market studies carried out in 1978[7] indicated that reopening the Quebec Lithium Corporation's property and chemical operations was not economically feasible at that time.

Consideration has also been given to producing lithium carbonate from the ore produced at the Tantalum Mining Company of Canada's property in Manitoba. The idea of building a lithium carbonate plant at Bernic Lake was first mooted in 1973, suspended in 1975, revived at the end of the 1970s, but postponed again in 1980, when there was a downturn in the aluminum industry[8].

## Lithium Metal

The combination of i) domestic spodumene production, ii) rising domestic and world demand for lithium metal, especially for batteries and aluminum-lithium alloys, and iii) availability of relatively inexpensive electrical energy in Canada suggests that potential exists for lithium metal production in Canada.

Establishment of a domestic plant to produce lithium metal from domestic, or even imported, raw materials offers an alternative to metal imports. Métaux Spéciaux S.A.'s 25 tpy installation in France suggests a model for such a facility. Major factors in determining such a plant's possible location would be: the site's costs of electric power, delivered costs of lithium chloride and potassium chloride and the site's proximity to markets. Locations in Manitoba, British Columbia and Quebec would warrant consideration.

A commercial-scale operation, which might also have to include a facility to make lithium chemicals, would take an estimated three years to bring into production.

**References**

1 Energy, Mines and Resources Canada, "Canadian Mineral Deposits Not Being Mined in 1983", Mineral Bulletin MR 198, 1984, 308 p.

2 C.A. Olivier and E.H. Nenniger, "Continuous Process for Production of Lithium Carbonate", CIM Bulletin, Vol. 72, No. 807, July 1979, p. 131-136.

3 R. Mulligan, "Lithium in Canada", Canadian Mining Journal, Vol. 78, No. 4, April 1978, p. 123.

4 Staff, "Large Lithium Deposit at Yellowknife", The Northern Miner, Vol. 71, No. 23, August 15, 1985, p. 13.

5 J.E. Reeves, "Lithium Minerals" in Canadian Minerals Yearbook 1965, p. 231.

6 C.A. Olivier and E.H. Nenniger, loc. cit.

7 Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Lithium: Third Edition, 1979", p. 9.

8 S. Buckley, "Lithium - Recession Delays Market Lift Off", Industrial Minerals, No. 185, February 1983, p. 30.

## PART V. SUBSTITUTE MATERIALS

No disruptions to Canada's supplies of lithium raw materials are foreseen at this time. Even if such an interruption were to occur, other materials could be used instead of lithium products in their current important uses in Canada, although at either higher cost or lower performance.

Cryolite, calcium fluoride or aluminum fluoride could substitute for lithium carbonate or lithium fluoride in the production of aluminum metal from alumina[1].

Calcium- and aluminum-based soaps could substitute for lithium-based soaps in greases.

In most uses in glass and ceramics, sodium, potassium and other kinds of fluxes could be used instead of lithium minerals and chemicals.

Substitutes also seem to be readily available in some other important applications of lithium that are only just beginning to appear in Canada, for example, in its use in batteries.

Battery systems using zinc, magnesium or mercury anodes could be used instead of non-rechargeable lithium batteries[2], but would not perform as well in various applications. Sodium- or zinc-based technologies could replace those having lithium anodes in rechargeable battery systems.

Initially, parts made of (heavier) aluminum metal will remain possible substitutes for any parts made of aluminum-lithium used in aircraft, because the manufacturing technologies used to make them will likely be kept as close as possible to current techniques to save the aircraft manufacturing industry from having to spend large sums on retooling.

Lithium metal's suitability for use in deuterium-tritium fusion systems (discussed in Part I) is, however, considered to be unique.

**References**

1 J.E. Ferrell, "Lithium", United States Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries, 1986, p. 92.

2 J.E. Ferrell, "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 7.

## PART VI. SUMMARY

### Canadian Uses

Canadian industry uses lithium in the forms of lithium mineral concentrates, lithium chemicals, and lithium metal.

**Lithium Mineral Concentrates:** Some 350 tpy of imported lithium mineral concentrates, mostly in the form of spodumene, mined from pegmatites, is estimated to be used in that form in the production of vitreous enamels.

**Lithium Chemicals:** In Canada, the greatest use of lithium is in the form of chemicals, primarily as carbonate. Canadian Reynolds Metals Company, Limited and the Aluminum Company of Canada, Limited use at least 75 per cent of the 1 250 t of lithium carbonate annually imported into Canada, in the production of aluminum metal from alumina. The chemical is added to some of the potlines to reduce fluorine losses and emissions and to lower energy consumption. Some of the imported lithium carbonate is used to make ceramics.

Another important use of chemicals is in the form of hydroxide monohydrate for making specialty and multi-purpose lithium-based greases, which account for some 70 per cent of all greases used in Canada.

**Lithium Metal:** Since the beginning of the 1980s, lithium metal has found growing use as an anode in batteries. Moli Energy Limited of Burnaby, British Columbia, which now produces some 4,000 batteries per month from a pilot plant, is building a plant to make 33.6 million rechargeable lithium batteries per year. By 1990, this company's annual demand for lithium metal (now estimated to be in the tens of kg per year) could amount to some 35 t, the equivalent of 6 per cent of current estimated Western World lithium metal production capacity.

The possibility of making non-rechargeable batteries with lithium metal or lithium-alloy anodes is being looked at by Hydro-Québec and the Electrofuel Manufacturing Company (Toronto). Small amounts of lithium metal are used by Canadian foundries to remove oxygen and sulphur from high-conductivity copper castings and brasses.

Aluminum-lithium alloys are only just beginning to be used by European and U.S. manufacturers of aircraft. The degree to which their use will spread to Canada will be governed by experience gained from prototype aircraft such as the French "Rafale" and the European A320 Airbus.

Any aluminum-lithium alloys or parts used in the future by Canadian aircraft manufacturers are, at least initially, likely to be imported from foreign suppliers such as British Alcan Aluminium Limited, the Aluminum Company of Canada's subsidiary whose plant is located near Birmingham, England.

Although commercial nuclear fusion technology is unlikely to emerge before the year 2010, this process in which energy would be produced from the controlled fusion of deuterium and tritium (obtained through neutron bombardment of lithium) may eventually create the largest single use for lithium. Future Canadian demand for lithium metal, salts or compounds for this use, which has led to the element being called "strategic", is impossible to predict at this time because the quantity required will depend upon the reactor concept chosen and the degree to which fusion reactors replace conventional plants in Canadian electric power generation.

Any tritium now needed for Canadian experimental work on nuclear fusion is obtained, as a byproduct, from Candu nuclear reactors, which do not use lithium in their operations.

**World Supply**

World output of lithium minerals and compounds, which in 1985 amounted to an estimated 8 100 t of contained lithium, is centred in a small number of countries, notably the United States, U.S.S.R., Chile, China and Australia.

In 1986, some 80 per cent of Western World output came from the United States, where it is produced by two companies, Foote Mineral Company and Lithium Corporation of America, each of which accounted for about half of U.S. production. Chile, which had only just brought into operation its first lithium brine extraction plant owned by Foote Mineral Company and the Chilean government agency Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO), accounted for a further 16 per cent.

In 1985, pegmatite mines accounted for some 70 per cent of the Western World's production capacity of 8 500 tpy (lithium content); generally less expensive operations, in which brine is pumped from underground pools and concentrated by solar evaporation, accounted for the rest, and for all of Chile's production capability.

Up to 25 per cent of world output of lithium concentrates and compounds is sent to the glass and ceramics industries in mineral concentrate form. The rest is converted to lithium carbonate, lithium hydroxide or lithium chloride in plants located near the mining or extraction operations.

A second lithium brine extraction plant is scheduled to be constructed in Chile by CORFO and AMAX Inc. of the United States. Planned to be brought into production in 1990 at the rate of 2 800 tpy of contained lithium, it will increase world production capacity by over a third. What is more, the long-range plan allows for expansion at 7 per cent per year to a total of 13 700 tpy, 170 per cent of 1985 world production.

In the Western World, lithium metal production, which could amount to some 600 tpy, comes from France, the United Kingdom, the United States and West Germany.

Aluminum-lithium alloys, which weigh up to 10 per cent less than aluminum metal and thus offer aircraft manufacturers the opportunity either to increase payload or to decrease fuel consumption, are now being produced commercially in France and the United Kingdom and are expected to be produced, in much larger quantities, in the United States. The A320 Airbus, scheduled to fly in February 1987, will be the first Airbus model to use aluminum-lithium parts in several areas.

**Canada's Current Sources of Supply**

Spodumene production has recently started at the Tantalum Mining Corporation of Canada Limited's mine at Bernic Lake, Manitoba, which has a production capacity of at least 12 000 tpy of concentrate. All of it is exported to consumers who have determined that this spodumene is particularly suited to their needs.

Canada imports all its own needs for lithium products. Of the various products used, only lithium stearate is made in Canada, most of it during lithium grease manufacture from imported lithium.

The United States is by far the most important source of all of Canada's imports of lithium products. However, Chile, an important new source of this material, has recently begun to supply Canada with significant amounts of lithium carbonate.

Approximately 140 tpy of lithium hydroxide monohydrate is imported into Canada, principally from the United States but also in relatively small amounts from the People's Republic of China.

**Potential for Lithium Production in Canada**

In April 1986, the Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) started producing spodumene concentrate at its new concentrator plant at Bernic Lake, Manitoba, all for export. The entire current spodumene requirements of the domestic ceramics industry in Ontario could be met from this source, but likely at greater cost.

Lithium deposits of significant size are known in Quebec, Ontario, the Northwest Territories and in other places in Manitoba. These have remained unexploited because of their remote locations and potentially high costs of production relative to other world producers.

The Sullivan Mines Inc.'s Quebec Lithium Corporation deposit near Val d'Or, Quebec, produced spodumene concentrates from 1950 to 1965, but closed because of a lack of markets for its products. Technology used by the Quebec Lithium Corporation for the production of lithium carbonate has been advanced by the Quebec Department of Natural Resources, but the domestic market for lithium chemicals is at present too small to warrant production of such ceramics in Quebec or Manitoba.

The expected growth in domestic and world demand for lithium metal in batteries and aluminum-lithium alloys and the availability of relatively inexpensive electrical energy in Canada suggests that there is good potential for the production of lithium metal in Canada from imported chemicals or even from domestic lithium materials. A commercial-scale operation might take three years to construct.

**Substitutes**

No disruption of Canada's lithium supply system is envisaged at this time, but were such an interruption to occur, substitutes in the form of cryolite, calcium fluoride or aluminum fluoride could replace lithium carbonate in aluminum smelting; calcium- or aluminum-based soaps could be used in place of lithium soaps in lithium-based greases; and sodium, potassium or other fluxes could be used instead of lithium minerals and chemicals in glass and ceramics, but at higher cost or with less satisfactory performance.

As to the future, other battery technologies will be able to substitute for those employing lithium, and it is expected that, until aircraft manufacturers have retooled their production lines, parts made of aluminum will still be able to substitute for those made of aluminum-lithium. Lithium metal's suitability for use in deuterium-tritium fusion systems is, however, considered to be unique.

## PART VII: CONCLUSIONS

1. The four main lithium products that Canadian industry needs come primarily from reliable foreign sources:

- **lithium carbonate,** mostly for use in aluminum smelting, some 1 300 t of which was imported in 1985 at a cost of $6,000,000, 94 per cent from the United States and 6 per cent from Chile;

- **lithium hydroxide monohydrate** for making multi-purpose lithium-based greases, 150 t of which, valued at $800,000, was imported in 1985, 89 per cent from the United States and 11 per cent from the People's Republic of China;

- **lithium mineral concentrate,** obtained from a number of countries including Australia and the United States, some 350 t of which is used each year by the ceramics industry;

- **lithium metal,** obtained from the United States, currently used in small amounts (tens of kg per year) by the battery industry.

2. World production capability is varied and rising, especially through immense developments in Chile and, potentially, in Bolivia. Furthermore, substitution would not be a serious problem.

3. Therefore, security of supply is not an issue for any of the lithium products Canada is using.

4. In the controlled nuclear fusion of deuterium and tritium, lithium's special suitability for use as a source of tritium as a coolant has led to the element being called "strategic". Commercial energy production by this means is unlikely to materialize before the year 2010.

5. There may be future opportunities in domestic processing of lithium mineral concentrates and lithium chemicals. The lithium mineral concentrates that Canada is producing in Manitoba -- and might produce elsewhere -- could be used to make lithium chemicals, particularly lithium carbonate and lithium chloride, for use in producing lithium metal for both domestic markets and export. Continued review is warranted of the growth in the amount of lithium used in the domestic production of lithium batteries and of the use of aluminum-lithium alloys to make aircraft and maybe other forms of transportation equipment in Canada.

## APPENDIX 1

### Prices of Selected Lithium Chemicals, February 1986

| | ($Cdn equivalent of U.S. prices/kg) |
|---|---|
| 1. n- Butyllithium, 15 per cent solution | |
| a) 1000-lb lots or more, cylinders, 100 per cent basis, delivered | 47.58 |
| b) tanks, 3000-lb minimum, 100 per cent basis, delivered | 45.42 |
| 2. Lithium bromide | |
| a) anhydride, drums, truckloads, delivered | 19.31 |
| b) solution, same basis | 12.32 |
| 3. Lithium carbonate, powder, bars, carload, truckload, delivered | 4.62 |
| 4. Lithium chloride | |
| a) anhydride, carload, truckload, delivered | 10.22 |
| b) solution, drums, carload, truckload, delivered | 9.05 |
| 5. Lithium fluoride, drums, carload, truckload, delivered | 15.09 |
| 6. Lithium hydroxide, monohydrate, drums, carload, truckload, delivered | 5.94 |
| 7. Lithium hypochlorite, carload, truckload, works | 3.29 |
| 8. Lithium stearate, bags, carload, freight allowed | 3.11 |

Sources: Chemical Marketing Report, Vol. 229, No. 7, February 17, 1986, p. 33 and 36; exchange rate, The Globe and Mail, February 15, 1986, p. B-7.

## APPENDIX 2

### Canadian Customs Tariffs on Imported Lithium Materials

| Item No. | | Rate: British Preferential | Rate: Most Favoured Nation | Rate: General | Rate: General Preferential |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (per cent) | |
| 71100-1 | Spodumene | 11.1 | 11.1 | 25.0 | 7.0 |
| 92828-1 | Lithium hydrate, lithium hydroxide, lithium oxide, lithium peroxide | 1.9 | 1.9 | 25.0 | 1.0 |
| 92830-1 | Lithium chloride | 10.0 | 12.8 | 25.0 | 8.5 |
| 92833-1 | Lithium bromide, lithium salts | 1.9 | 1.9 | 25.0 | 1.0 |
| 92842-1 | Lithium carbonate | 10.0 | 12.8 | 25.0 | 8.5 |
| 92916-1 | Lithium citrate | 10.0 | 12.8 | 25.0 | 8.5 |

| MFN Reductions under GATT (effective January 1 of year given) | 1987 (%) |
|---|---|
| 71100-1 | 10.2 |
| 92828-1 | free |
| 92830-1 | 12.5 |
| 92833-1 | free |
| 92842-1 | 12.5 |
| 92916-1 | 12.5 |

Source: Customs Tariff, 1986, Revenue Canada, Customs and Excise.

## APPENDIX 3

## COUNTRY BY COUNTRY REVIEWS

### Argentina

To date, Argentina has only produced very small quantities of lithium minerals, from pegmatites in Catamarca and San Luis provinces[1].

The country does, however, have potential for coproduct or byproduct lithium output from brines in the Salina del Rincón in Salta Province, and the Salar del Hombre Muerto deposit on the Catamarca-Salta boundary[2], (Figure 2), as well as from salt deposits in the Province of La Pampa[3]. In February 1986, an Argentinian company, Party Sasimagi, started construction of a chemical plant to treat lithium, magnesium and potassium salts from the Salina del Rincón. Production of some 6 000 tpy of potassium chloride and sulphate is scheduled to begin towards the end of 1986; output of lithium carbonate is due to start in late-1987, at an initial rate of 800 tpy[4].

### Australia

In 1982, Greenbushes Tin Limited started the production of lithium ore from a large zoned pegmatite containing tin, tantalum, lithium and columbium located near Bunbury in Western Australia. In 1985, output amounted to 11 200 t of spodumene[5]. Sales for 1986 are expected to increase to 16 000 t.

At the beginning of 1986, construction of a 5 000 tpy lithium carbonate plant was under consideration by the company. Most of the proposed output would be sold to C. Itoh of Japan and to Chemetall GmbH of West Germany[6].

### Bolivia

The Salar de Uyuni salt crust, Figure 2, is estimated to contain at least 5 million t of lithium, 3 million t of boron and 100 million t of potassium[7].

In 1985, the Bolivian government formed a company called Complejo Industrial de Recursos Evaporiticos del Salar de Uyuni (CIRESU) to coordinate its exploitation[8]. CIRESU's priorities include a lithium production feasibility study[9]. Lithium associated with boron is found also in the Rio Grande deposit to the north of the Salar de Uyuni.

### Brazil

Brazil has long been a producer of amblygonite, lepidolite, petalite and spodumene. The principal producing company is Arqueana de Minérios e Metais Ltda. with operations in the Araçuai-Itinga district along the Jequitinhonha River in northeast Minas Gerais[10].

NUCLEMON - Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. makes lithium carbonate, lithium hydroxide, lithium chloride and lithium fluoride from amblygonite at a plant at Santo Amaro in the State of San Paulo[11].

**Chile**

Chile, which only began producing lithium in 1984, accounts for some 11 per cent of world output.

Sociedad Chilena de Litio Ltda., a joint venture between Foote Mineral Company of the United States (55 per cent) and Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO)[12], a Chilean government agency (45 per cent), pumps lithium-rich brine from under a salt crust and concentrates it in solar evaporation ponds at Chépica del Salar, near Peine in the southern part of the vast Salar de Atacama[13], Figure 2.

The concentrated brines are trucked to Pan de Azucar on the Salta to Antofogasta railway and then sent by rail to the company's 6 300 tpy lithium carbonate production plant at La Negra, near Antofogasta.

In early-1986, a new company, Sociedad Minera Salar de Atacama (Minsal Ltda.), AMAX Exploration Inc. (63.75 per cent), Molibdenos y Metales S.A. (Molymet) an AMAX subsidiary (11.25 per cent) and CORFO (25 per cent) was formed to exploit brines in the northern part of the Salar de Atacama. Proposed mineral production would amount to 500 000 tpy of potassium chloride, 250 000 tpy of potassium sulphate, 30 000 tpy of boric acid and, initially, up to 2 800 tpy of lithium metal equivalent in 1990. Lithium metal equivalent output, which is controlled by Chile's Nuclear Energy Commission could, however, subsequently increase at a rate of 7 per cent per year to 13 700 tpy[14].

**China**

China is well endowed with lithium resources in pegmatites and in brines in the Qaidam basin, Qinghai province. No production statistics are reported but China produces spodumene from various localities and exports lithium carbonate, lithium hydroxide and lithium metal.

**France**

France does not produce lithium minerals. However, an important deposit of lithium, tin, tantalum, beryllium and columbium is known to exist at Échassières in Allier[15].

Métaux Spéciaux S.A., a subsidiary of Péchiney, operates a 25 tpy lithium metal plant at Pomblière-Saint-Marcel, Savoie[16]. Another of that company's subsidiaries, Cegedur plans to have a lithium-aluminum alloy plant in operation in 1987, at Issoire, Puy-de-Dome[17]. Provisions are being made to allow for an easy expansion in alloy output capacity from an initial level of 3 500 tpy to 12 000 tpy[18].

Péchiney can cast 1.5 t aluminum-lithium ingots at its Voreppe research facility. The company has already used several hundred t of alloys in establishing manufacturing processes for semi-finished products at its subsidiaries: Cégédur Issoire, sheet and plate; Cégédur Montreuil-Juigné, extrusions; Aviatube Nantes, drawn tubes; and Forgéal Issoire, open and close die forgings[19].

**Japan**

Japan has no lithium mineral production but is a foremost manufacturer of lithium chemicals.

Honjo Chemical Corp. produces materials for batteries; Nihon Lithium Corp., in which the Foote Mineral Company has an interest, makes most kinds of chemicals, including butyllithium, as does the Asian Lithium Co.[20].

Several Japanese companies, notably Kobe Steel, Ltd., Sumitomo Electric Industries, Ltd., and Sumitomo Light Metal Industries, Ltd. are interested in the development of metallurgical techniques for the production of aluminum-lithium alloys. Sumitomo Light Metal has developed an aluminum-magnesium-lithium alloy suitable for use as a structural material for nuclear fusion reactors[21].

**Namibia**

Small tonnages of lepidolite and petalite are produced by SWA Lithium Mines (Pty.) Limited from a pegmatite deposit near Karibib[22].

**Netherlands**

Jan de Poorter of Geertruidenberg is an important grinder of pegmatite minerals that are imported from Africa and South America for use in ceramic products[23].

**Portugal**

Portugal, which mines small amounts of lepidolite, is western Europe's only producer of lithium minerals[24].

**U.S.S.R.**

The U.S.S.R. is a major producer of all lithium products, yet little is known in the west of its lithium industry. Lithium mineral-bearing pegmatites are known in the Kola Peninsula, the Ural Mountains, Turkestan, the Ukraine and in Transbaikalia, where there are also lithium-bearing brines[25].

The U.S.S.R. is an exporter of lithium hydroxide and lithium carbonate[26].

**United Kingdom**

No lithium minerals are recovered in the United Kingdom but lithium metal[27] and a range of lithium[28] catalysts for specialty synthetic rubbers and polymers are made from imported raw materials at the Broomborough, Merseyside, plant of the Lithium Corporation of Europe, a subsidiary of the Lithium Corporation of America.

In 1985, British Alcan Aluminium Limited, a subsidiary of the Aluminum Company of Canada, Limited opened a new 1 000 tpy plant at Kitts Green near Birmingham which can produce 3 t aluminum-lithium ingots and billets for making products for the aircraft industry[29].

**United States**

The United States is the world's leading producer of lithium minerals and products.

Foote Mineral Company, a subsidiary of Newmont Mining Corporation, mines spodumene at King's Mountain, North Carolina, and recovers lithium from brine at Silver Peak, Nevada. The company's 1984 output was equivalent to some 11 700 t of lithium carbonate[30]. The company manufactures lithium products at Frazer, Pennsylvania; New Johnsonville, Tennessee; and Sunbright, Virginia[31]. During 1984, the company began expanding its lithium chloride production facility to meet growing demand for lithium metal[32].

Lithium Corporation of America (Lithco), a subsidiary of FMC Corporation, mines spodumene and produces lithium metal and chemicals at a facility at Bessemer City in North Carolina[33]. In 1984, the company produced some 14 700 t of lithium carbonate equivalent from its North Carolina operations[34].

The Aluminum Company of America (Alcoa), the Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, and Novamet Aluminum are spearheading North American developments in aluminum-lithium alloys.

Alcoa can cast ingots of up to 4.5 t at a plant near Pittsburgh and can produce sheets of up to 4 t at its Davenport, Iowa, facility[35]. Kaiser can cast 4.5-t ingots at its Pleasant facility in California.

Novamet Aluminum, of Wyckoff, New Jersey, a unit of Inco Alloy Products Company, manufactures alloys by hot pressing processed metal powders in billets[36], some 100 to 150 kg in weight[37], ready for conversion into products such as extrusions, forgings and flat stock.

International Light Metals Corporation, a subsidiary of Nippon Kokan K.K. of Japan, formed from the former Torrance, California, operations of Martin Marietta Corporation[38], is also known to have developed aluminum-lithium ingot casting capability[39].

**West Germany**

Chemetall GmbH, a subsidiary of Metallgesellschaft A.G., makes lithium metal and the full range of lithium compounds at the Hans-Heinrich-Hütte plant in Langelsheim where lithium carbonate was first produced in industrial quantities some 60 years ago[40,41].

**Zaire**

The Compagnie Géologique et Minière des Ingénieurs et Industriels Belges (Géomines) and Zairétain (an agency of the Government of Zaire) own a large pegmatite at Kitolo from which tin, columbium-tantalum and lithium could be produced[42]. A similar deposit occurs at Manono, Shaba province.

**Zimbabwe**

Zimbabwe has long been an important exporter of lithium minerals for the ceramics industry. A number of grades of lepidolite, petalite, pollucite and spodumene are prepared from pegmatite quarried at the Al Hayat operation of Bikita Minerals (Pvt.) Ltd., a subsidiary of BP Minerals International Ltd. of the United Kingdom. The plant is located at Glen Cova, some 67 km to the west of Fort Victoria[43].

**References**


1 Roskill Information Services, Limited, "The Economics of Lithium", Third Edition, 1979, p. 5.

2 F. Velasco, "The Mineral Industry of Argentina", Preprint from the Bureau of Mines Minerals Yearbook 1983, p. 9.

3 P. Velasco, "The Mineral Industry of Argentina", Preprint from the Bureau of Mines Minerals Yearbook 1982, p. 15.

4 Staff, "Argentina to Build Salt Processing Plant", Latin American Mining Letter, Vol. 5, No. 4, February 19, 1986, p. 4.

5 Staff, "Greenbushes Hedges Its Tin", Mining Journal, Vol. 306, No. 7847, January 10, 1986, p. 28-29.

6 Staff, "Australia May Get Lithium Plant", Metals Week, Vol. 56, No. 9, March 4, 1985, p. 8.

7 P. Velasco, "The Mineral Industry of Bolivia", in U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1981, Vol. III, International", p. 150.

8 Staff, "Bolivia: Go Ahead for Uyuni Salt Deposits", Latin American Mining Letter, Vol. 4, No. 9, May 8, 1985, p. 1.

9 Staff, "Bolivian Salt Company Commences Operations", Latin American Mining Letter, Vol. 4, No. 15, August 1, 1985, p. 1.

10 K. Afgouni and J.H. Silva Sa, "Lithium Ore in Brazil", Energy, Vol. 3, No. 3, 1978, p. 247-253.

11 República Federativa do Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, "Sumário Mineral 1983", p. 62-63.

12 Staff, "New Lithium Frontier in Chile", Foote Prints, Vol. 47, No. 1, 1984, p. 2-14.

13 M. Coad, "Lithium Production in Chile's Salar de Atacama", Industrial Minerals, No. 205, October 1984, p. 27.

14 Staff, "New Chilean Lithium Venture", Metal Bulletin, No. 7059, February 7, 1986, p. 7.

15 Staff, "Les Métaux Stratégiques", Industrie Minérale - Mines et Carrières, Vol. 67, July, 1985, p. 471.

16 Staff, "Pechiney Aluminum/Lithium Plant Okayed", Metals Week, Vol. 56, No. 44, November 4, 1985, p. 8.

17 Staff, "Pechiney to Build Aluminum-Lithium Plant", Metals Week, Vol. 56, No. 19, May 13, 1985, p. 8.

18 Staff, Journal Français de l'Électrothermie, "Informations: Ferro-alliages et Métaux; Aluminium-lithium: les Approvisionnements", Journal Français de l'Électrothermie, No. 8, juin-juillet 1985, p. 17.

19 Péchiney Aluminium, "Aluminium Lithium Cegedur", 1985, n.p.

20 S. Buckley, "Lithium - Recession Delays Market Lift Off", Industrial Minerals, No. 185, February 1983, p. 31-32.

21 T. Furukawa, "Aluminum-Lithium Applications Focus of Japanese Study", American Metal Market, Vol. 93, No. 19, June 20, 1985, p. 4-5.

22 Roskill Information Services Limited, op. cit., p. 16.

23 S. Buckley, op. cit., p. 32-33.

24 Ibid.

25 Roskill Information Services Limited, op. cit., p. 24.

26 S. Buckley, op. cit., p. 32.

27 Staff, "Lithco Expanding Capacity in Europe", Metals Week, Vol. 56, No. 14, April 8, 1985, p. 6.

28 S. Buckley, op. cit., p. 32.

29 Staff, Journal Français de l'Électrothermie, op. cit., p. 17.

30 Foote Mineral Company, "Annual Report 1984", p. 3.

31 J.E. Ferrell, "Lithium", Preprint from the 1984 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 2.

32 Foote Mineral Company, "Annual Report 1984", p. 3.

33 J.E. Ferrell, ibid.

34 Gulf Resources & Chemical Corporation, "1984 Annual Report", p. 41.

35 Staff, Journal Français de l'Électrothermie, op. cit., p. 17.

36 Novamet Aluminum, "Novamet Aluminum Brochure", c: 1985, n.p.

37 Staff, Journal Français de l'Électrothermie, op. cit., p. 17.

38 R.C. Yafie, "NKK to Use Holdings to Build Bridge Linking Marketing, Technology with Japan", American Metal Market, Vol. 93, No. 117, June 20, 1985, p. 1 and 7.

39 W.E. Quist, G.H. Narayanan and A.L. Wingert, "Aluminum-Lithium Alloys for Aircraft Structure - An Overview", in T.H. Sanders, Jr., and E.A. Starke, Jr., (eds.), "Aluminum-Lithium Alloys II", p. 327.

40 R.J. Bauer, "Lithium in Europe (Summary)", Energy, Vol. 3, No. 3, 1978, p. 241.

41 E. Thieler, "50th Anniversary of the Hans-Heinrich-Hütte at Langelsheim", Metallgesellschaft, Review of the Activities, New Series, No. 6, 1963, p. 3-15.

42 J.E. Ferrell, "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Figures, 1985 Edition", p. 3.

43 J.E. Wegener, "Profile on Bikita--Processed Petalite the New Priority", Industrial Minerals, No. 165, June 1981, p. 51-53.

## APPENDIX 4

## GENERAL REFERENCES

### Batteries

Brookman, M.J., "Why Are There So Many Batteries?", Design News, Vol. 41, No. 11, June 3, 1985, p. 116-120.

Buckley, S., "Lithium - Recession Delays Market Lift Off", Industrial Minerals, No. 185, February 1983, p. 25-35.

Collins, D.H., (ed.), "Papers Presented at the 2nd International Meeting on Lithium Batteries, Paris, France, April 25-27, 1984", Journal of Power Sources, Vol. 14, Nos. 1-3, Jan.-March, 1985, 268p.

Dey, A.N., (ed.), "Proceedings of the Symposium on Lithium Batteries", Pennington, NJ, The Electrochemical Society, Inc., 1984, 450p.

Duracell Inc., "Lithium/Sulfur Dioxide Primary Cells and Batteries", Bulletin PB2100, Bethel, CT, Duracell Inc., 1986, 15p.

Florida Atlantic University, "Proceedings of the Second International Lithium Battery Technology and Application Seminar and Workshop, March 4-6, 1985", Boca Raton, FL, Atlantic University, n.d., n.p.

Gabano, J.-P. (ed.), "Lithium Batteries", Toronto, Academic Press, 1983, 455p.

Moli Energy Limited, "Development and Testing of a Large Lithium Molybdenum Disulfide Battery", Canadian Electrical Association Research Report 313 U 416, Vancouver, British Columbia, Moli Energy Limited, 1985, 40p.

Moli Energy Limited, "Molicell Technical Information", Burnaby, British Columbia, n.d., n.p.

Posa, J.G., "Lithium-based Batteries: Charged and Ready to Back Up CMOS Systems", Electronic Design, Vol. 33, No. 6, March 14, 1985, p. 43-46.

Powers, D., "Lithium Cells Suit High-energy Military Needs", EDN (Electronic Design News), Vol. 30, No. 8, April 11, 1985, p. 39-49.

Serjeantson, R.M., ed., "Non-Ferrous Metal Works of the World", 1986 edition, Worcester Park, England, Metal Bulletin Books Ltd., 1986, 647 p.

United States, General Accounting Office, "Army's Procurement of Batteries: Magnesium vs Lithium", GAO/NSIAD-85-124, September 26, 1985, 7 p.

Venkatasetty, H.V., (ed.), "Lithium Battery Technology", Toronto, John Wiley & Sons, 1984, 247p.

**Fusion Energy**

Barrett, W.T. and Kunasz, I., "Lithium for Thermonuclear Fusion Reactors," in D.M. Considine (ed.), "Energy Technology Handbook", New York, McGraw-Hill Book Company, 1977, p. 5-182 - 5-185.

Halpern, G.M., "Fusion Energy", in M. Grayson (ed.) "Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", Third Edition, Vol. 11, Toronto, John Wiley and Sons, p. 590-603.

Hartley, J.N., Gore, B.F., and Young, J.R., "Potential Lithium Requirements for Fusion Power Plants", Energy, Vol. 3, No. 3, June 1978, p. 337-346.

Smith, D.L., "Blanket Comparison and Selection Study - Final Report", Argonne National Laboratory, ANL/FTP-84-1, Vol. 1, p. 3-22.

Symons, E.A., "Lithium Isotope Separation: A Review of Possible Techniques", Canadian Fusion Fuels Technology Project Report CFFTP-6-85036, Toronto, Ontario Hydro, 1985, 26p.

**Lithium Metal and Alloys**

Alcan International Limited, "LITAL - Current Data for Aluminium-Lithium Alloys", Chalfont Park, Gerrards Cross, United Kingdom, n.d., 6p.

Bretz, P.E., and Sawtell, R.R., "Alithalite Alloys: Progress, Products and Properties", Paper Presented at the Third International Aluminum-Lithium Conference, University of Oxford, England, July 8-11, 1985, 12p.

Cieslak, S.J., Hart, R.M., Mehr, P.L., and Mueller, L.N., "ALCOA, Alithalite Alloy 2090: Technical Information", Paper Presented at the Seventeenth International Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE) Technical Conference, Kianesha Lake, NY, United States, October 22-24, 1985, 35p.

Condom, P., "Aluminium-Lithium Alloys: Massive Investment in a New Material", Interavia, Vol. 39, No. 11, November 1984, p. 1261-2.

Crozier, R.D., "Lithium: Resources and Prospects", Mining Magazine, Vol. 154, No. 2, February 1986, p. 148-152.

Foote Mineral Company, "Lithium Metal", Technical Data Bulletin 101, Exton, PA, United States, n.d., n.p.

Grimes, R. and Miller, W.S., "Current Status of the Development of Aluminum-Lithium Alloys for Aerospace Application", Paper 8305-050 presented at the 1983 American Society for Metals Congress, Philadelphia, PA, United States, October 3-6, 1983, 19p.

Haflich, F., "Aluminum-Lithium Alloys' Debut Nears", American Metal Market, Vol. 94, No. 47, March 10, 1986, p. 6A.

Kubel, E.J., Jr., "Al-Li Alloys: New Hope for Weight Watchers", Materials Engineering, No. 102, April 1985, p. 41-44.

Kuzela, L. and Terasko, J., "Aluminum Banks on Alloy in Fight with Composites", Industry Week, Vol. 221, No. 2 April 16, 1984, p. 74 and 77.

Lowndes, J.C., "Alcoa Producing Lighter Lithium Alloy", Aviation Week & Space Technology, February 27, 1984, Vol. 120, No. 9, p. 68-71.

Staff, "Lightweight Metal Alloy Attracts Aircraft Makers", New Scientist, Vol. 105, No. 1449, March 28, 1985, p. 27.

Nussbaum, A.I., "International Aluminum-Lithium Conference at Oxford, England", Light Metal Age, Vol. 3, Nos. 7 and 8, August 1985, p. 5-7, 28.

Péchiney Aluminium, "Aluminium Lithium Cégédur", Paris, France, 1985, 5p.

Sanders, T.H., Jr., and Starke, E.A., (eds.) "Aluminum-Lithium Alloys: Proceedings of the First International Aluminum-Lithium Conference, Stone Mountain, GA, United States, May 19-21, 1980", Warrendale, Pa., American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 1981, 376p.

Schelleng, R.D. and Donachie, S.J., "Mechanically Alloyed Aluminium", Metal Powder Report, Vol. 38, No. 10, October 1983, n.p.

Schelleng, R.D., Gilman, P.S., and Donachie, S.J., "Aluminum-Magnesium-Lithium Forging Alloy Made by Mechanical Alloying", Paper presented at the Seventeenth National Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE) Technical Conference, Kianesha Lake, NY, United States, October 22-24, 1985, Covina, CA., SAMPE, 1985, p. 106-115.

Schreck, A.E., "Lithium: A Materials Survey", United States Bureau of Mines, Information Circular 8053, 1961, 80p.

Starke, E.A., Jr., and Sanders, T.H., Jr., (eds.), "Aluminum-Lithium Alloys II: Proceedings of the Second International Aluminum-Lithium Conference, Monterey, CA, April 12-14, 1983", Warrendale, PA, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 1984, 692p.

**Resources, Supplies and General Uses**

Alexander, J.H., "Lithium", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 64, No. 5, May 1985, p. 660-661.

Alexander, J.H., "Lithium: Consumption Increases, as Does Supply", Engineering and Mining Journal, Vol. 186, No. 3, March 1985, p. 123-124.

Alexander, J.H., "Lithium", Mining Engineering, Vol. 37, No. 5, May 1985, p. 475-476.

Bach, R.O., "Lithium: Current Applications in Science, Medicine and Technology", Toronto, John Wiley & Sons, 1985, 422p.

Bach, R.O., and Wasson, J.R., "Lithium and Lithium Compounds", in M. Grayson, (ed.), "Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", Third Edition, Vol. 14, 1981, Toronto, John Wiley and Sons, 1980, p. 448-476.

Staff, "From Chile and Foote, a Lithium Glut?", Chemical Week, Vol. 135, No. 3, July 18, 1984, p. 15-16.

Comer, E.P., "The Lithium Industry Today", Energy, Vol. 3, No. 3, June 1978, p. 237-240.

Ferrell, J.E., "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", Washington, DC, U.S. Bureau of Mines, n.d., 10p.

Ferrell, J.E., "Lithium", in "Mineral Commodity Summaries 1985", Washington, DC, U.S. Bureau of Mines, 1986, p. 92-93.

Ferrell, J.E., "Lithium, Preprint from the 1984 Bureau of Mines Minerals Yearbook", Washington, D.C., U.S. Bureau of Mines, n.d., 7p.

Kesler, T.L., "Raw Lithium Supplies", Mining Engineering, Vol. 30, No. 3, March 1978, p. 283-284.

Kunasz, I.A., "Lithium in Brine" in Coogan, A.H. and Hauber, L. (eds.), "Proceedings of the Fifth Symposium on Salt", Vol. 1, Cleveland, OH, United States, Northern Ohio Geological Society, Inc., 1979, 485p., p. 115-117.

Mulligan, R., "Lithium in Canada", Canadian Mining Journal, Vol. 78, No. 4, April 1978, p. 121-126.

National Lubricating Grease Institute (N.L.G.I.), "Production, Markets and Shipment Survey for Calendar Year 1983", Kansas City, MO, N.L.G.I., in press.

Nicholson, P., "Past and Future Development of the Market for Lithium in the World Aluminium Industry", Energy, Vol. 3, No. 3, June 1978, p. 247-253.

Olivier, C.A., and Nenniger, E.H., "Continuous Process for the Production of Lithium Carbonate", CIM Bulletin, Vol. 72, No. 807, July 1979, p. 131-136.

Pearse, G.H.K., "Lithium", in "Canadian Minerals Yearbook 1976", Ottawa, Supply and Services Canada, 1979, p. 313-315.

Pennwalt Inc., "Lubrication Guide: Precision Lubricants", Oakville, Ontario, Pennwalt Inc., n.d., n.p.

Roskill Information Services Limited, "The Economics of Lithium: Third Edition, 1979", London, England, Roskill Information Services Limited, 1979, 131p.

United States, Geological Survey, "Lithium: Nature's Lightest Metal", INF-75-27, Washington, DC, U.S. Government Printing Office, n.d., 15p.

Vine, J.D. (ed.), "Lithium Resources and Requirements by the Year 2000", United States Geological Survey, Professional Paper 1005, Washington, DC, U.S. Government Printing Office, 1976, 162p.

Wegener, J.E., "Profile on Bikita: Processed Petalite the New Priority", Industrial Minerals, No. 165, June 1981, p. 51.

MR 212

# LITHIUM

## UN PRODUIT MINÉRAL IMPORTÉ

BULLETIN MINÉRAL MR 212

# LITHIUM

## UN PRODUIT MINÉRAL IMPORTÉ

1986

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste auprès du:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnement et Services Canada
Ottawa, (Canada) K1A 0S9

N° de cataolgue M38-2/212
ISBN 0-660-53350-2

au Canada: $7,50
à l'étranger: $9,00

Prix sujet à changement sans préavis

Publié sous les auspices du ministre de
l'Énergie, des Mines et des Ressources Canada

## AVANT-PROPOS

Producteur de quelque 60 produits, le Canada occupe le troisième rang de l'industrie minérale mondiale, derrière les États-Unis et l'U.R.S.S., par la valeur et la diversité de sa production minérale; de plus, il est le plus important exportateur de cette industrie. Le Canada jouit donc d'une position privilégiée, non seulement parce qu'il possède de vastes ressources minérales sur son territoire, mais également parce qu'il a la capacité de subvenir à la plupart de ses propres besoins en minéraux.

Ainsi, bon nombre de Canadiens pourraient s'étonner d'apprendre que les importations de minéraux et dérivés se chiffrent à plusieurs milliards de dollars par année. Certains de ces produits importés, tels que le minerai de fer et divers minéraux industriels sont également extraits de notre sol, mais d'autres, comme la bauxite, le chrome, le manganèse et le phosphate, ne le sont pas.

Pour déterminer la vulnérabilité du Canada à la pénurie éventuelle d'un produit minéral importé, il faut tenter de répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les pays d'origine de ce minéral?
- Quel itinéraire parcourt-il jusqu'au Canada?
- Jusqu'à quel point la chaîne d'approvisionnement est-elle vulnérable aux interruptions de nature politique ou autre?
- De quelle quantité de ce minéral avons-nous besoin, et pour produire quoi exactement?
- Existe-t-il d'autres sources d'approvisionnement?
- Peut-on trouver des substituts au Canada ou à l'étranger?
- Quelles mesures faudrait-il prendre afin d'obtenir ce minéral d'une autre source ou pour employer un substitut?
- En résumé: dans quelle mesure l'approvisionnement futur du Canada est-il menacé, et quelles mesures de prévention devrions-nous prendre dès maintenant?

Le LITHIUM est un minéral surtout utilisé, au canada, comme additif dans la production d'aluminium à partir de l'alumine et dans les graisses à usages multiples; le présent rapport examine la situation de l'une des rares matières premières que le Canada doit actuellement importer

en quasi-totalité. Ce rapport est le sixième d'une série visant à évaluer les problèmes possibles dans l'approvisionnement de certains minéraux non combustibles, et destinée à servir de base à une politique gouvernementale qui pourrait permettre d'orienter la recherche afin de réduire notre dépendance envers l'étranger. M. R.J. Shank traite de la question générale des minéraux stratégiques dans un document intitulé "Dépendance du Canada à l'égard des minéraux et des métaux importés - Question à l'étude", rapport interne du Secteur de la politique minérale MRI 81/7.

Les fonctionnaires du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources dont les noms suivent ont collaboré à la rédaction du présent rapport : T. Malis, du Centre canadien de la technologie des minéraux, W.D. Sinclair, de Relevés géologiques du Canada ainsi que M.A. Boucher, T.C. Newman et J. Zwartendyk, du Secteur de la politique minérale.

La coordination de l'étude était assurée par A.B.T. Werner de la Division de la politique des ressources, Secteur de la politique minérale.

R.R. Sully
Sous-ministre adjoint
(Secteur de la politique minérale)

TABLE DES MATIÈRES


| | Page |
|---|---|
| **PARTIE I. COMPOSÉS ET UTILISATIONS** | 1 |
| Concentrés de lithium | 1 |
| Produits chimiques à base de lithium | 4 |
| Lithium et alliages | 5 |
| Bibliographie | 10 |
| **PARTIE II. SOURCES D'APPROVISIONNEMENT DU CANADA EN PRODUITS DE LITHIUM** | 12 |
| A. Production intérieure | 12 |
| B. Sources d'importation | 12 |
| Bibliographie | 13 |
| **PARTIE III. RÉSERVES, PRODUCTION ET CAPACITÉ D'APPROVISIONNEMENT À L'ÉCHELLE MONDIALE** | 16 |
| Minéraux et composés de lithium | 16 |
| i) Réserves mondiales | 16 |
| ii) Production mondiale | 16 |
| iii) Capacité mondiale d'approvisionnement | 18 |
| Produits chimiques à base de lithium | 20 |
| Lithium, métal et alliages | 20 |
| Bibliographie | 23 |
| **PARTIE IV. POTENTIEL DE PRODUCTION CANADIENNE DE LITHIUM** | 24 |
| Gisements de lithium | 24 |
| Produits chimiques à base de lithium | 26 |
| Lithium métal | 26 |
| Bibliographie | 27 |
| **PARTIE V. SUBSTITUTS** | 28 |
| Bibliographie | 28 |

| | Page |
|---|---|
| **PARTIE VI. RÉSUMÉ** | 29 |
| Utilisations au Canada | 29 |
| Approvisionnement mondial | 30 |
| Sources d'approvisionnement actuelles du Canada | 31 |
| Potentiel de production canadienne de lithium | 31 |
| Substituts | 32 |
| **PARTIE VII. CONCLUSIONS** | 33 |

**ANNEXES**

| | |
|---|---|
| 1. Prix de produits chimiques sélectionnés à base de lithium, février 1986 | 34 |
| 2. Tarifs douaniers canadiens appliqués aux produits de lithium importés | 35 |
| 3. Examen de la situation dans divers pays | 36 |
| Allemagne de l'Ouest | 36 |
| Argentine | 36 |
| Australie | 36 |
| Bolivie | 36 |
| Brésil | 37 |
| Chili | 37 |
| Chine | 37 |
| États-Unis | 38 |
| France | 38 |
| Japon | 39 |
| Namibie | 39 |
| Pays-Bas | 39 |
| Portugal | 39 |
| Royaume-Uni | 39 |
| U.R.S.S. | 40 |
| Zaïre | 40 |
| Zimbabwe | 40 |
| 4. Bibliographie | 43 |

Page

## TABLEAUX


1. Principaux minéraux de lithium 2

2. Formules et teneurs en lithium de certains produits chimiques à base de lithium 3

3. Piles au lithium non rechargeables et leurs utilisations 8

4. Importations de produits chimiques à base de lithium, 1984 et 1985 14

5. Réserves mondiales 16

6. Production minière mondiale de lithium, par pays, de 1984 à 1985 18

7. Principaux producteurs de minéraux et de composés de lithium 19

8. Principaux producteurs de lithium et d'alliages d'aluminium-lithium, dans les pays occidentaux 22

9. Principaux gisements de lithium au Canada 25


## FIGURES


1. Canada, importations de carbonate et d'hydroxyde de lithium, 1976-1985 15

2. Chili : La mine de lithium de Salar de Atacama 17

## PARTIE I. COMPOSÉ ET UTILISATIONS

Le lithium, le plus léger des métaux, est l'un de ceux qui permettent d'obtenir le potentiel le plus élevé dans les piles électriques; il offre d'excellentes perspectives de croissance en termes de consommation pour la fin de la décennie et au début des années 90. L'industrie occidentale utilise le lithium sous diverses formes : minéraux concentrés, produits chimiques, métal et alliages. Aucun chiffre n'a été publié sur la consommation ou les exportations canadiennes de l'un ou l'autre des matières à base de lithium.

Les concentrés de lithium entrent dans la fabrication du verre et de la céramique à l'épreuve des chocs et dans la composition des produits chimiques.

Les produits chimiques à base de lithium résistent bien à l'action de l'eau et aux températures élevées; on estime qu'ils sont employés dans plus de la moitié des graisses à usages multiples utilisées dans les domaines militaire et industriel ainsi que dans l'automobile et le transport maritime. Le carbonate de lithium sert à la production d'aluminium à partir de l'alumine; enfin, le butyllithium, composé minéral de carbone et de lithium, agit comme catalyseur dans la fabrication du caoutchouc synthétique.

Des applications importantes ont été récemment mises au point pour le lithium métal employé comme anode dans les piles électriques et dans les alliages légers pour l'industrie aéronautique.

### Concentrés de lithium

Le lithium est présent dans plusieurs composés naturels. Or, seuls quelques minéraux trouvés dans les pegmatites font l'objet d'une exploitation commerciale: entre autres, le spodumène, la pétalite, l'amblygonite et la lépidolite (voir le tableau 1). On récupère également des quantités considérables de lithium à partir de saumures riches en chlorure de lithium, notamment au Chili.

Le spodumène demeure, de très loin, la plus importante source de lithium. En Caroline du Nord, on concentre des minerais contenant jusqu'à 20 % de spodumène (0,7 % Li) au moyen de la flottation par moussage, jusqu'à l'obtention de concentrés à 80 % de spodumène. On peut également produire certains concentrés de lépidolite par cette méthode. Tous les composés de lithium commerciaux se présentent sous la forme d'agrégats cristallins suffisamment volumineux pour en permettre le triage à la main; le schéidage à la main, pour la pétalite, l'amblygonite et le lépidolite, demeure une méthode courante au Brésil, en Namibie et au Zimbabwe.

Les saumures souterraines naturelles du Nevada et du Chili, contenant respectivement 0,023 % et 0.14 % de lithium, sont concentrées par évaporation solaire jusqu'à teneur d'environ 3,5 % Li, dans le cas du Chili.

**Tableau 1**

**Principaux minéraux composés de lithium**

| Minéral | Formule | Teneur théorique en lithium (pourcentage de Li) | Teneurs approximatives de Li dans les minéraux commerciaux |
|---|---|---|---|
| Spodumène | $Li_2O.Al_2O_3.4SiO_2$ | 3,73 | 2,6 - 3,0 |
| Pétalite | $Li_2O.Al_2O_3.8SiO_2$ | 2,26 | 1,4 - 2,2 |
| Amblygonite | $LiAl(PO_4)(F,OH)$ | 4,73 | 3,7 - 4,2 |
| Lépidolite | $K_2Li_3Al_3(AlSi_3O_{10})_2(O,OH,F)_4$ | variable | 1,4 - 1,9 |

Source: Ferrell, J.E. "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p.3.

La plupart des minéraux de lithium ont plusieurs utilisations. On les emploie généralement comme fondants naturels pour le verre et la céramique et dans la fabrication de produits chimiques ou de lithium métal. Certains concentrés sont suffisamment purs pour être directement utilisés, après broyage, dans le verre, dans les tubes cathodiques de téléviseur noir et blanc, dans les lentilles photochromatiques et dans les mélanges pour céramiques. Les producteurs de verre canadiens n'emploient pas de produits à base de lithium. Cependant, les producteurs de céramique comme la Chicago Vitreous (Canada) Limited d'Ingresoll (Ontario) et la Ferro Industrial Producs Limited d'Oakville (Ontario) en utilisent quelque 350 tonnes (t) par an dans certains émaux vitreux.

Les matières à base de lithium utilisées dans la céramique doivent avoir une faible tenneur en oxydes de fer. En conséquence, le spodumène, le plus courant des minéraux de lithium, est vendu suivant trois qualités : la qualité chimique, avec une teneur en $Fe_2O_3$ d'environ 2 %, la qualité céramique, dont la teneur en $Fe_2O_3$ est d'environ 1 %, et la qualité céramique à faible teneur en fer, avec 0,1 % de $Fe_2O_3$[1]. La majeure partie du spodumène vendu est de qualité chimique; il est transformé en carbonate de lithium, près du lieu d'extraction.

**Tableau 2**

**Formules et teneurs en lithium de certains produits chimiques**

| | Lithium (%) | Principales utilisations finales |
|---|---|---|
| Butyllithium | 10,83 | Catalyseur dans la production du caoutchouc synthétique |
| Bromure de lithium | 8,0 | Catalyseur, sédatif, caloporteur de climatisation |
| Carbonate de lithium | 18,8 | Production d'aluminium, de céramique et de verre |
| Chlorure de lithium | 16,3 | Fabrication de lithium métal, fondants de soudage et de brasage, et déshumidificateur |
| Flucrure de lithium | 26,8 | Production de l'aluminium, fondants de soudage et de brasage |
| Hydroxyde de lithium, monohydrate | 16,5 | Savons et graisses à base de lithium |
| Hypochlorite de lithium | 11,89 | Blanchiment, produit d'assainissement dans l'industrie alimentaire |
| Stéarate de lithium | 2,39 | Graisses résistant aux températures élevées et hydrofuges |

Source: Ferrell, J.E. "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 3.

En décembre 1985, le prix mondial du spodumène commercial, suivant sa teneur en $Li_2O$ (entre 4 et 7 %), allait de 375 $ CA à 475 $ CA la tonne. La pétalite, avec une teneur en $Li_2O$ de 3,5 à 4,5 % et broyé à la grosseur de tamis 200[2], coûtait 375 $ la tonne.

La production mondiale de concentrés et de composés de lithium est employée, dans une proportion allant jusqu'à 25 %, par les industries du verre et de la céramique sous forme de concentrés; la majeure partie de cette production est transformée en carbonate, en hydroxyde ou en chlorure de lithium, dans des usines proches de la mine ou du lieu d'extraction.

**Produits chimiques à base de lithium**

Le lithium est généralement vendu et utilisé sous forme de produit chimique (voir le tableau 2), notamment le carbonate de lithium et l'hydroxyde de lithium.

Le carbonate de lithium est une matière première pour la production d'hydroxyde de lithium, de chlorure de lithium et d'autres produits chimiques. Le carbonate à haute teneur en lithium se retrouve dans les médicaments servant au traitement des troubles maniaco-dépressifs. Il existe de nombreuses applications du carbonate de lithium dans les industries du verre et de la céramique et dans la production d'aluminium.

L'industrie de l'aluminium utilise le carbonate de lithium ou le chlorure de lithium comme additif dans la production d'aluminium. L'ajout d'un sel de lithium au bain de cryolithe, au cours de l'électrolyse, améliore la conductivité et le rendement général de la cuve. La quantité de vapeurs produite est moindre, ce qui abaisse d'autant les pertes et les émissions de fluor. L'utilisation de lithium demande toutefois un meilleur contrôle du procédé électrolytique et par ailleurs, de petites quantités s'introduisent dans l'aluminium, ce qui nuit à la couleur du métal et à sa liaison dans certaines applications métallurgiques[3].

La majeure partie du carbonate de lithium, dont l'utilisation du composé est la plus importante au Canada, entre dans la production de l'aluminium; on utilise aussi le carbonate de lithium dans la préparation de la céramique. On estime que la consommation de carbonate de lithium représente, de la part de la Société canadienne de métaux Reynolds, Limitée et de l'Aluminium du Canada, Limitée (du moins pour certaines de ses usines), au moins 75 % des importations canadiennes de ce produit qui sont de l'ordre de 1 250 t par année.

L'hydroxyde de lithium monohydrate est à la base de la fabrication de graisses de lithium à usages multiples faites à partir de la combinaison de ce produit avec un mélange d'acide 12-hydroxystéarique (dérivé de la graine de ricin) et huiles de graissage. Les importations de ce produit étant de l'ordre de quelque 140 t par année, il représente la deuxième importation de lithium en importance. En 1983, les graisses de lithium à usages multiples, fabriquées par des entreprises telles que la Pennwalt Inc. d'Oakville (Ontario), la Battenfeld Grease Canada Ltd. de Toronto et la Shell Canada Limitée de Montréal, ont fourni environ 70 % des graisses produites au Canada[4].

Le chlorure de lithium, habituellement dérivé du carbonate de lithium ou de l'hydroxyde de lithium, est le matériau de départ pour la production du lithium métal. Les propriétés hygroscopiques du chlorure de lithium en font un déshumidificateur recherché dans la climatisation. On l'utilise également dans les flux décapants et les métaux d'apport pour les joints métalliques.

Le fluorure de lithium entre dans les fondants utilisés pour la soudure de l'aluminium; il peut également remplacer le carbonate d'aluminium dans les cuves d'usines d'électrolyse.

On emploi le butyllithium normal, composé à base d'organolithium (carbone-lithium), comme catalyseur dans la production des caoutchoucs synthétiques (styrène-butadiène, et isoprène[5]). La synthèse de pesticides sélectifs, la vitamine A et les médicaments pour les infections virales et les maladies coronariennes représentent de nouveaux domaines d'utilisation des composés organiques du lithium[6].

On ajoute divers sels de lithium aux électrolytes de certaines batteries d'accumulateurs; ils font présentement l'objet d'une étude menée par l'Institut de recherches d'Hydro-Québec.

Le niobate de lithium, dont les propriétés optiques peuvent être altérées par l'exposition à un champ magnétique, est étudié comme agent de commutation dans les systèmes de télécommunication par fibres optiques les plus récents[7].

**Lithium et alliages**

Le lithium métal, qui est disponible commercialement sous diverses formes : lingots, grenailles, rubans, fils, barres et comme agent de dispersion dans l'huile minérale, trouve de plus en plus d'applications dans les piles et les alliages d'aluminium et lithium. On l'utilise comme point de départ dans la fabrication de matières à base de lithium telles que : le bromure de lithium (utilisé dans les unités de climatisation et de réfrigération à grande échelle), l'amide de lithium (combinaison de lithium métal, d'hydrogène et d'ammoniaque utilisée dans la synthèse des antihistaminiques) ainsi que les composés d'organolithium[8]. Le lithium est également utilisé, au Canada comme dans d'autres régions du globe, pour éliminer l'oxygène et le soufre dans les moulages de cuivre et les laitons à conductivité élevée.

Le métal est produit par électrolyse d'un mélange de chlorure de lithium (obtenu à partir du carbonate de lithium) et de chlorure de potassium. Il faut six tonnes de carbonate de lithium et quelque 62 000 kWh d'électricité pour produire, à partir de ce mélange, une tonne de métal. Afin d'éviter la détérioration superficielle, on l'entrepose en immersion dans de l'huile minérale. En février 1986, le prix coté US pour le lingot de lithium métal équivalait à 75 $ CA le kilo et celui de la barre de lithium valait entre 94 et 104 $ CA[9]. Le lingot de lithium qualité piles et accumulateurs coûte environ 107 $ CA le kilo. Le lithium en feuille vaut entre 160 et 190 $ CA.

**Les alliages pour l'industrie aérospatiale.** Comme il est le plus léger des métaux, sa densité étant de moins du cinquième de celle de l'aluminium, on a depuis longtemps envisagé la possibilité d'utiliser ce métal allié à l'aluminium dans les alliages aérospaciaux, pour réaliser des économies de poids dans l'industrie aérospatiale. De plus, sa présence dans de tels alliages entraîne une augmentation du module d'élasticité améliorant la rigidité.

Des facteurs liés à la fracture de métal restreignent la teneur maximale en lithium à environ 2,5 %. Les alliages d'aluminium et lithium sont généralement conçus pour atteindre, avec une teneur nominale en lithium de 2 %, des réductions de poids de l'ordre de 10 % ainsi qu'une augmentation de 10 % à 15 % de la rigidité par rapport aux alliages d'aluminium ordinairement utilisés dans la fabrication des avions, et légèrement moins par rapport aux variétés les plus récentes.

Les alliages d'aluminium-lithium et d'aluminium-lithium-manganèse sont fabriqués depuis les années 50, mais la combinaison de faible résistance, de ductilité basse et de tendance à la cassure a restreint de façon considérable leur emploi. Les récents développements dans les techniques de coulée en lingots ont eu raison des problèmes créés par la réactivité extrême de l'alliage aluminium-lithium en fusion à l'eau qui sert habituellement à refroidir les lingots. D'autres part, les principaux producteurs d'aluminium ont annoncé la commercialisation d'une nouvelle génération d'alliages de type aérospatial basés sur des teneurs variables en aluminium, en lithium, en cuivre, en magnésium et en zirconium.

Des essais initiaux indiquent que les alliages aluminium-lithium ont des propriétés mécaniques supérieures à celles des alliages sans lithium, particulièrement en ce qui concerne l'évolution des fissures de fatigue, offrant même la possibilité de moulage superplastique (moulage de pièces considérablement plus facile), avec une résistance à la corrosion et une soudabilité adéquates.

Les nouveaux alliages actuels à résistance moyenne et à haute résistance sont conçus comme substituts directs aux alliages sans lithium, permettant ainsi d'éviter l'achat de nouveaux outillages pour la fabrication des pièces d'avion. On estime que l'utilisation de pièces en aluminium-lithium permettrait à un avion de transporter une charge utile de 6 % supérieure ou d'économiser 6 % sur le carburant [10].

On prévoit que des alliages de deuxième et troisième générations, qui pourraient être produits à l'aide de techniques de solidification rapide, apparaîtront au cours des années 90. D'ici la fin du siècle, les alliages aluminium-lithium pourront vraisemblablement constituer jusqu'à 30 % du marché des alliages "aérospatiaux", parant ainsi à la pénétration des composites non métalliques.

Il ne semble pas que des alliages aluminium-lithium aient jamais été employés dans la fabrication des avions du Canada. Il est probable que les alliages à base d'aluminium et de lithium qui seront utilisés par les fabricants d'avions au Canada seront, du moins au début, importés par des fournisseurs étrangers comme British Alcan Aluminium Limited, filiale de l'Aluminium du Canada, Limitée, située près de Birmingham, en Angleterre.

**Piles et accumulateurs.** Il s'agit de dispositifs convertissant l'énergie chimique en énergie électrique; ils comprennent essentiellement deux électrodes, une anode et une cathode, immergées dans un électrolyte liquide ou solide.

Il en existe deux catégories principales, selon qu'ils sont rechargeables ou non rechargeables. Les piles non rechargeables, utilisées par exemple dans les lampes de poche, doivent pouvoir conserver leur énergie pendant de longues périodes de non-utilisation. Certaines batteries d'accumulateurs rechargeables, comme celles qui sont utilisées dans les sous-marins, sont constamment déchargées et rechargées; d'autres, comme les batteries d'automobiles, doivent produire de brusques poussées de courant sur de courtes périodes; d'autres, comme celles utilisées dans les bouées et balises, doivent pouvoir produire une faible énergie électrique pendant de longues périodes.

Les piles au lithium, constituées d'anodes de lithium ou d'ailliages au lithium, combinées avec diverses électrolytes et cathodes, contenant dans certains cas des sels de lithium, sont des produits importants, à cause de leur longue durée de stockage, de leur plus vaste gamme de température de fonctionnement et des tensions plus élevées obtenues (voir le tableau 3). Les variétés actuelles de piles de petit format (A et AA) contiennent jusqu'à 3 g de lithium métal par unité[11].

Les piles au lithium/bioxyde de soufre produisent plus d'énergie et ont une durée de stockage supérieure par rapport aux piles classiques, tout comme les piles au lithium/chlorure de thionyle. Les deux types sont utilisés dans les régions froides éloignées. L'armée américaine, qui a mis à l'essai des piles au lithium/bioxyde de soufre en Alaska, achète ces piles plutôt que les piles au magnésium [12], pour ses appareils radio.

Parmi les piles et accumulateurs au lithium à énergie moyenne et d'une durée de stockage pouvant aller jusqu'à plusieurs années, on trouve les piles au lithium/bioxyde de manganèse et au lithium/monofluorure de carbone, qui sont utilisées en électronique.

Les piles au lithium de faible énergie, format pastille, à longue durée de stockage, sont utilisées pour les stimulateurs cardiaques. On rapporte qu'une nouvelle génération de piles au lithium/oxyde de cuivre et au lithium/oxyphosphate de cuivre, d'une durée de stockage de beaucoup supérieure à dix ans, serait actuellement mise au point[13].

La société Moli Energy Limited[14] de Burnaby, en Colombie Britannique, qui produit mensuellement 4 000 piles au lithium/bisulfure de molybdène dans une usine-pilote en n'utilisant que quelques dizaines de kilogrammes de lithium, est à l'avant-garde de la technologie de la pile rechargeable au lithium, sur le plan mondial. L'entreprise projette de construire une usine dont la production annuelle atteindrait 33,6 millions de piles à mini-lampe de poche, en utilisant 35 t de lithium métal, d'ici 1990; la production devrait commencer au cours de la première moitié de 1987[15].

Tableau 3

**Piles et accumulateurs au lithium non rechargeables et leurs utilisations**

| Cathode | Vitesse de décharge normale | Tension de service (V) | Températures de service (°C) | Forme | Utilisations |
|---|---|---|---|---|---|
| Bioxyde de soufre (liquide) | Élevée | 2,8 | de -55° à +75° | Cylindres, gros accumulateurs | Militaire, émetteurs-récepteurs, radios-balises acoustiques et matériel de communication |
| Chlorure de thionyle (liquide) | Élevée | 3,5 | de -55° à +75° | Grosses pièces de monnaie, cylindres, gros accumulateurs | Matériel militaire et commercial en régions éloignées, mémoires de grande capacité |
| Bioxyde de manganèse (solide) | Moyenne | 3,0 | de -20° à +55° | Pièces de monnaie, cylindres | Montres, calculatrices, mémoires à semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire |
| Monofluorure de carbone (solide) | Moyenne | 2,7 | de -20° à +55° | Pièces de monnaie cylindres | Montres, calculatrices, mémoires à semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire |
| Oxyde de cuivre (solide) | Moyenne | 1,7 | de -55° à +125° | Grosses pièces de monnaie, cylindres | Grosses mémoires de grande capacité à semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire |
| Iode (solide) | Faible | 2,8 | de -55° à +125° | Petites pièces de monnaie | Stimulateurs cardiaques, petites mémoires à semi-conducteur à oxyde de métal complementaire |

Source: Posa, J.G. "Lithium-based Batteries: Charged and Ready to Back up CMOS Systems", Electronic Design, Vol.33, n°6, 14 mars 1985.

Les conclusions d'une étude de la possibilité d'employer cette technologie pour la production d'accumulateurs pour véhicules électriques indiquent qu'elle serait utilisable à condition de l'améliorer[16]. La société Electrofuel Manufacturing Company de Toronto participe à la mise au point d'un accumulateur aluminium-lithium/sulfure de fer pour les véhicules[17]. Hydro-Québec mène une étude sur les accumulateurs rechargeables avec anodes au lithium ou alliages de lithium, cathodes au bisulfure de titane, bioxyde de molybdène ou pentoxyde de vanadium et électrolytes de sel de lithium dans un bain de polymère[18].

**Le lithium comme source d'énergie.** Il est possible que l'utilisation la plus importante du lithium, celle qui est à l'origine de son importance "stratégique", ait lieu un jour dans des centrales thermonucléaires, dans lesquelles l'énergie résulterait de la fusion contrôleé du deutérium et du tritium, les deux isotopes lourds de l'hydrogène[19], dans le noyau du réacteur. Le tritium combustible serait obtenu à partir du bombardement neutronique de lithium; il s'agirait là du moyen le plus simple, mais non le seul, de produire du tritium en grande quantité.

Le lithium naturel est constitué de deux isotopes : $^{6}Li$ (92,6 %) qui, bombardé par des neutrons, produit du tritium en **libérant** de l'énergie, et $^{7}Li$ (7,4 %) qui, soumis au même traitement, produit du tritium et des neutrons en **absorbant** de l'énergie.

Selon le degré d'enrichissement en $^{6}Li$, le lithium (ou divers sels et composés) peut être utilisé soit pour enrichir le tritium, soit pour entourer le noyau du réacteur, en absorbant la chaleur provenant de la réaction de fusion.

Dans un type de réacteur, le lithium métal naturel en fusion servirait à la fois de source de tritium et d'agent de refroidissement. Selon une autre méthode proposée[20], la couche protectrice serait constituée à 90 % de $^{6}Li$ et un gaz serait utilisé pour recueillir la chaleur de la réaction.

La future demande de lithium dans les réacteurs de fusion est impossible à prévoir : elle dépendra du type de réacteur choisi et du rythme auquel les réacteurs de fusion remplaceront les centrales classiques pour la production électrique. Suivant le type de réacteur choisi, il faudrait prévoir de 40 à 400 t de lithium naturel par gigawatt de puissance installée. Le remplacement annuel qu'exigeraient la consommation et les pertes par recyclage serait de l'ordre de 0,1 à 50 t.

Il est peu probable que la technologie de la fusion voit le jour avant l'an 2010, mais il se peut que des réacteurs de fusion expérimentaux d'une puissance de 1 GW soient mis en oeuvre d'ici là, quelque part dans le monde.

Au Canada, tout le tritium actuellement nécessaire aux travaux expérimentaux sur la fusion provient de réacteurs nucléaires Candu; le lithium ne joue aucun rôle dans ce processus.

**Bibliographie**


1. Ferrel, J.E. "Lithium", un chapitre de Mineral Facts and Problems, édition 1985, p.2.

2. Le personnel. "Prices", Industrial Minerals, n° 219, décembre 1985, p.101.

3. Vergos, C.T.P. "Lithium - A Commodity Study", Mémoire de maîtrise, Section de Génie minier, Queen's University, Kingston, Ontario, Queen's University, 1982, p.11.

4. National Lubricating Grease Institute. "Production, Markets and Shipment Survey for Calendar Year 1983", sous presse.

5. Bach, R. Et Wasson, J.R. "Lithium and Lithium Compounds" Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3e édition, 1981, vol 14, p. 468.

6. Lithium Corporation of America. "Lithium Technology", 1983, n.p.

7. Le personnel. "Optical Fibres Straddle the Globe", The Economist, vol. 298, n° 7438, 22 mars 1986, p.85.

8. Schreck, A.E. "Lithium: A Materials Survey", U.S. Bureau of Mines Information Circular 8053, p.8.

9. Le personnel. "Light Metals: Lithium, Weekly Prices, Week Eneded February 7, 1986" Metals Week, vol. 57, n° 6, 10 février 1986, p.5.

10. Haflich, F. "Aluminum-Lithium Alloys' Debut Nears", American Metal Market, vol. 94, n° 47, 10 mars 1986, p.6A.

11. Marshall, R. "Lithium: Growth Outlets", Australian Mining, vol. 76, n° 8, août 1984, p. 14.

12. United States, General Accounting Office, "Report to the Chairman, Committee on Armed Services, U.S. Senate"; Army's Procurement of Batteries: Magnesium Vs Lithium", p. 1.

13. Brennan, M.J. "Why Are There So Many Batteries?", Design News, 3 juin, 1985, p. 118.

14. Climenhaga, D. "Firm Finds Battery has Drawing Power", The Globe and Mail, 13 mars, 1986, p. B-15.

15. O'Neil, P. "$25 Million Sought for Battery Plant", Vancouver Sun, 16 janvier 1986, p. F-2.

16. Moli Energy Limited. "Development and Testing of a Large Lithium Molybdenum Disulfide Battery", Canadian Electrical Association Research Report 313, vol. 416, p. iii.

17. Hopkins, J.L. "Canadian Metallurgical News: Lithium Batteries", CIM Bulletin, vol. 78, No. 875, p. 137-138.

18. Institut de Recherche d'Hydro-Québec. "Rapport d'activité 1984", n.p.

19. Halpern, G.M. "Fusion Energy", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", troisième édition, 1980, vol. 11, p. 590-603.

20. Ferrell, J.E. op. cit., p. 9.

## PARTIE II. SOURCES D'APPROVISIONNEMENT DU CANADA EN PRODUITS DE LITHIUM

### A. Production intérieure

La Quebec Lithium Corporation a produit, entre 1955 et 1965, plus d'un million de tonnes de minerai de spodumène, dans sa mine de Lacorne, au Québec. La plus grande partie de cette production a été envoyée à l'usine de la Lithium Corporation of America, à Bessemer City, en Caroline du Nord, où l'on produit de l'hydroxyde de lithium monohydrate pour la U.S. Atomic Energy Commission (AEC), dans le cadre des études sur la fusion nucléaire. Après l'exécution du dernier contrat de l'AEC relié au lithium, en 1960, l'industrie américaine du lithium a connu une importante chute dans la demande de ce produit; par conséquent, la Lithium Corportion of America a résilié, en 1961, le contrat qui la liait à la Québec Lithium Corporation pour l'approvisionnement en spodumène. Cette dernière a alors entrepris la production de carbonate de lithium et d'hydroxyde de lithium, mais a dû mettre fin à ses activités à cause du prix trop bas des produits chimiques dérivés du lithium[1]. Après cette fermeture, en 1965, aucun dérivé du lithium n'a été produit au Canada pendant près de vingt ans.

En mai 1984, la Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) a commencé la production, à une échelle semi-commerciale, du spodumène, qualité céramique, à Bernic Lake, au Manitoba. La première étape du programme de la construction d'une usine de concentrés commerciaux a été achevée en mars 1986, la capacité de production mensuelle du produit dépassant les 1 000 t.

Presque toute la production actuelle de Bernic Lake est exportée à des consommateurs de l'étranger pour les besoins desquels le produit de TANCO convient tout particulièrement. L'industrie canadienne de la céramique, qui est située en majeure partie en Ontario, continue de subvenir à ses besoins relativement modestes, de quelques centaines de tonnes de spodumène par an, par l'importation.

Aucun produit chimique dérivé du lithium n'est fabriqué au Canada en quantité importante; cependant, du stéarate de lithium est produit, en faible quantité, comme partie du processus de la fabrication de graisses à partir du mélange d'hydroxyde de lithium monohydrate, d'acide 12-hydroxy-stéarique et d'huiles de lubrification.

Il n'existe au Canada aucune usine de fabrication de lithium métal ou d'alliages aluminium-lithium.

### B. Sources d'importation

Aucune donnée précise n'a été à ce jour publiée sur les importations canadiennes de concentrés de lithium. En 1955, l'Amalgamet Canada de Toronto, agent de vente de la Greenbushes Tin Ltd. de Perth, en Australie, a déchargé plusieurs milliers de tonnes de spodumène australien, qualité supérieure, à Thorold, en Ontario, où Amalgamet Canada Limited a fondé un centre de distribution pour l'Amérique du Nord.

L'approvisionnement total du Canada en matière de produits chimiques primaires à base de lithium est assuré en grande partie par importation des États-Unis (voir le tableau 4 et la figure 1). En 1985, le carbonate de lithium représentait plus de 85 % du volume et de la valeur des importations canadiennes de produits chimiques à base de lithium. Les deux principaux producteurs de produits chimiques sont la Foote Mineral Company, de Exton, en Pennsylvanie, et la Lithium Corporation of America, de Bessemer City, en Caroline du Nord. En 1985, les expéditions en provenance de nouvelles installations au Chili, propriété d'une filiale de la Foote Mineral Company, représentaient 6 % des importations canadiennes de carbonate de lithium. Ces produits importés du Chili proviennent du traitement des saumures, à Chépica del Salar, à l'est d'Antofogasta, envoyées à une usine située à La Negra. On a installé vers la fin de 1984 un granulateur afin d'obtenir un produit spécial destiné à l'industrie de l'aluminium[2]. Les chargements de carbonate de lithium sont envoyés par mer au Québec.

D'autres pays comme la Chine (hydroxyde de lithium) et le Royaume-Uni (divers sels de lithium d'acides inorganiques) ont également été des fournisseurs de produits chimiques à base de lithium pour les consommateurs canadiens.

Les produits chimiques peuvent être importés directement des pays producteurs étrangers, ou par le biais d'importateurs canadiens tels que la Canada Colors and Chemicals ou la Phillipp Brothers (Canada) Ltd., toutes deux de Toronto.

Le lithium métal est importé pour la fabrication de piles et d'accumulateurs, probablement en majeure partie des États-Unis, en quantité limitée. Toutes les importations d'alliages aluminium-lithium se limitent à des petites quantités, à titre expérimental.

Les tarifs douaniers canadiens qui s'appliquent aux diverses importations de lithium sont donnés à l'annexe 4.

**Bibliographie**

1. Singleton, R.H. "Lithium", U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Profiles, Washington, D.C., septembre 1979, p. 3.

2. Foote Mineral Company. "Annual Report 1984", p. 4.

**Tableau 4**

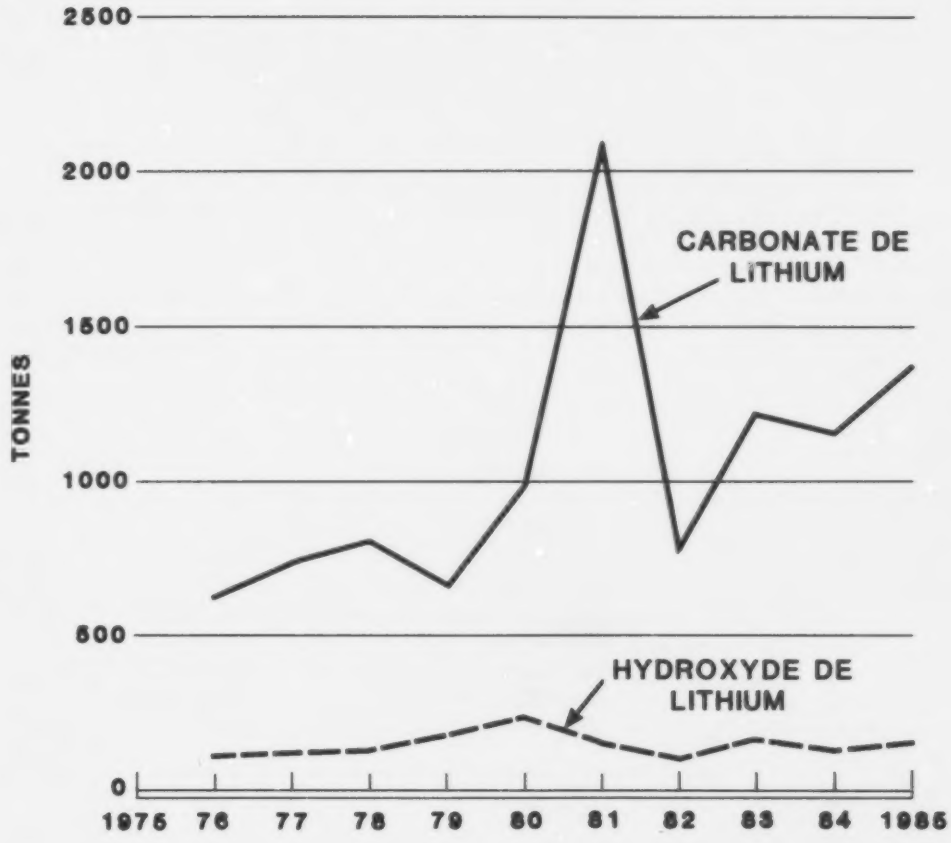
**Importations de produits chimiques de lithium, 1984 et 1985**

| | 1984 | | 1985 | |
|---|---|---|---|---|
| | (tonnes) | (en millions de dollars | (tonnes) | (en millions de dollars) |
| Carbonate de lithium | | | | |
| États-Unis | 1 152 | 5 141 | 1 293 | 6 175 |
| Chili | - | - | 82 | 367 |
| Allemagne de l'Ouest | - | - | 1 | 9 |
| Yougoslavie | * | 4 | - | - |
| Royaume-Uni | * | * | - | - |
| Total | 1 153 | 5 146 | 1 375 | 6 552 |
| Hydroxyde de lithium | | | | |
| États-Unis | 77 | 371 | 133 | 688 |
| Chine | 52 | 232 | 17 | 85 |
| Royaume-Uni | - | - | * | 1 |
| Total | 129 | 603 | 150 | 774 |
| Chlorure de lithium | | | | |
| États-Unis | 23 | 86 | 28 | 142 |
| Royaume-Uni | * | * | * | * |
| Total | 23 | 86 | 28 | 143 |
| Sels de lithium d'acides inorganiques, npa | | | | |
| États-Unis | 16 | 95 | 15 | 79 |
| Royaume-Uni | 1 | 4 | 2 | 5 |
| Australie | * | 1 | 1 | 4 |
| Total | 17 | 100 | 17 | 87 |

Sources: Energie, Mines et Ressources Canada; Statistique Canada.
* Moins de 500kg en poids ou de 500 $ en valeur.
\- Néant
npa: non précisé ailleurs.

Figure 1

# IMPORTATIONS DE CARBONATE ET D'HYDROXYDE DE LITHIUM AU CANADA 1976-1985



## PARTIE III. RÉSERVES, PRODUCTION ET CAPACITÉ D'APPROVISIONNEMENT À L'ÉCHELLE MONDIALE

**Minéraux et composés de lithium**

i) Réserves mondiales

A toutes fins pratiques, toutes les réserves occidentales en lithium se trouvent au Chili, aux États-Unis et en Australie (voir le tableau 5). Les données du tableau représentent la teneur en lithium de matières vraisemblablement exploitables qui sont relativement connues. Aucun chiffre sur les réserves de lithium de la République populaire de Chine ou sur celles de l'U.R.S.S. n'est disponible. Les importants dépôts de sel de Bolivie, tels que le Salar de Uyuni (voir la figure 2), contiendraient presque trois fois la quantité totale de lithium des réserves de l'Occident; cependant, on ne peut actuellement considérer que ces dépôts boliviens sont exploitables de façon avantageuse; par conséquent, ils ne peuvent être inclus dans les réserves reconnues.

ii) Production mondiale

En 1985, les quatre plus gros producteurs mondiaux, les États-Unis (56 %), l'U.R.S.S. (20 %), le Chili (11 %) et la Chine (6 %), ont fourni plus de 90 % des 8 100 t (teneur en lithium) de la production mondiale de minéraux de lithium (voir le tableau 6). Les États-Unis ont fourni 80 % de la production occidentale et le Chili 16 %.

**Tableau 5**

**Réserves mondiales[1]**

| | Tonnes de contenu en lithium | (% du total estimé) |
|---|---|---|
| Chili | 1 270 000 | 66,0 |
| États-Unis | 360 000 | 19,0 |
| Australie | 270 000 | 14,0 |
| Zimbabwe | 20 000 | 1,0 |
| Total | 1 930 000[2] | 100,0 |

Source: Ferrell, J.E. "Lithium", U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", prétirage, Bulletin 675, p.3.

[1] La Chine et l'U.R.S.S. n'ont jamais fait connaître leurs réserves.
[2] Le résultat de l'addition des données ne donne pas exactement le total indiqué, les chiffres individuels étant arrondis.

Figure 2

# CHILI : L'INSTALLATION DE LITHIUM DE LA SALAR DE ATACAMA

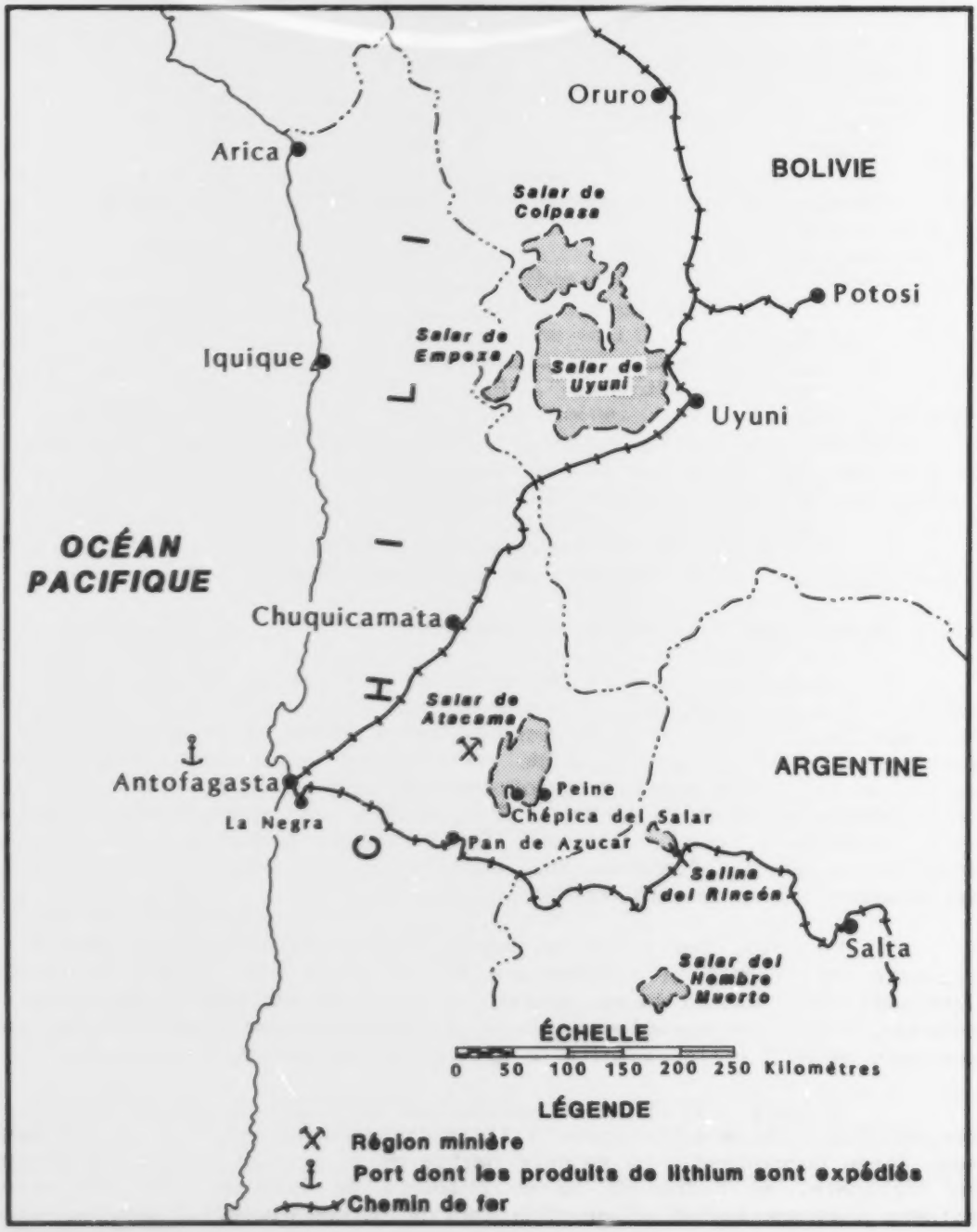


**Tableau 6**

**Production minière mondiale de lithium[1], par pays, de 1984 à 1985**

| | 1984 | 1985 |
|---|---|---|
| | (tonnes de lithium contenu) | |
| États-Unis | 4 450[2] | 4 500[2] |
| U.R.S.S.[e] | 1 633 | 1 633 |
| Chili | 481 | 907 |
| Chine[e] | 454 | 454 |
| Australie[e] | 212 | 272 |
| Zimbabwe | 159 | 181 |
| Canada | - | 136 |
| Namibie[e] | 14 | 14 |
| Brézil | 10 | 9 |
| Total | 7 400 | 8 100 |

Source: Ferrel, J.E. "Lithium", "Mineral Commodity Summaries 1986", U.S. Bureau of Mines, p. 93.
[1] Y compris la production à partir de saumures. [2] Estimation par EMR de la production des États-Unis. [e] Estimation. La Chine et l'U.R.S.S. n'ont jamais fait connaître leur production

En 1986, la production mondiale de minerai brut de lithium a été considérablement inférieure à la capacité disponible.

iii) Capacité mondiale d'approvisionnement

La plus grande part (60 %) de la capacité de production mondiale actuelle est assurée, aux États-Unis, par deux compagnies : la Foote Mineral Company, qui possède une exploitation minière de spodumène en Caroline du Nord et une usine de récupération de la saumure au Nevada, ainsi que la Lithium Corporation of America (Lithco), qui exploite une mine de spodumène en Caroline du Nord. Chacune d'elles représente la moitié de la capacité de production des États-Unis. L'U.R.S.S., la Chine, l'Australie et le Zimbabwe ont également une capacité de production intéressante (voir le tableau 7).

En 1985, les mines de pegmatite ont fourni environ 70 % de la capacité de production occidentale de 8 500 t par année (teneur en lithium); les exploitations généralement moins coûteuses comprenant le pompage, puis l'évaporation solaire des saumures représentaient la part restante de 30 % et la capacité de production entière du Chili.

Jusqu'à 25 % de la production mondiale de concentrés et de composés de lithium est envoyée à l'industrie du verre et de la céramique sous forme concentrée. La majeure partie de la production est transformée en carbonate, en hydroxyde ou en chlorure de lithium dans des usines situées près des installations d'extraction ou des mines.

Tableau 7

**Principaux producteurs de minéraux et de composés de lithium**

| Pays | Entreprise et lieu | Produit | Capacité de production nationale (1985-86) (teneur en lithium en tonnes) |
|---|---|---|---|
| États-Unis | Foote Mineral Company: | | |
| | a) Kings Mountain, Caroline du Nord (1 540 tonnes)[1] | Spodumène | 2 900 |
| | b) Silver Peak, Névada (1 360 tonnes)[1] | Carbonate de lithium à partir de saumure riche en Li | |
| | Lithium Corporation of America, Bessemer City (3 070 tonnes)[1] | Spodumène | 3 070 |
| | | | 5 970[2] |
| Chili | (Foote Mineral/CORFO) Sociedad Chilena de Litio Ltda. Salar de Atacama | Carbonate de lithium à partir de saumure riche en Li | 1 200[1] |
| U.R.S.S. | | - | 1 020 |
| Chine | | - | 680 |
| Australie | Greenbushes Tin Limited, Bunbury, Australie occidentale | Spodumène | 510[1] |
| Zimbabwe | Bikita Minerals (Pvt.) Ltd., Glen Clova, près de Fort Victoria | Pétalite et spodumène | 380 |
| Canada | Tantalum Mining Corporation of Canada Limited, Bernic Lake, Manitoba | Spodumène | 360+[1] |
| Brésil | Arquena de Minérios e Metais Ltda., Araçuai-Itinga District, Minas Gerais | Pétalite, amblygonite spodumène, lépidolite | 50 |
| **Total mondial** | | | **10 200[3]** |

Source: Coad, M. "Lithium Production in Chile's Salar del Atacama", Industrial Minerals, No. 205, p. 27.

1 Estimation de la capacité de la société.

2 Total pour les Etats-Uni.

3 Arrondis.

On trouvera en annexe 3 les capacités d'approvisionnement de divers pays.

Le Chili, qui n'a entrepris la production du lithium à partir des saumures qu'en 1984, est encore loin derrière des États-Unis quant à la capacité de production, mais il pourrait bien les devancer d'ici 10 ans. Les installations actuelles sont la propriété de la Sociedad Chilena de Litio Ltda. une entreprise en coparticipation regroupant la Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO), organisme gouvernemental chilien, et la Foote Mineral Company, dont l'exploitation se trouve dans le désert de l'Atacama, à l'est d'Antofogasta (voir la figure 2).

La Foote Mineral Company a constaté que le lithium le moins coûteux provenait des saumures. C'est pourquoi, au début de l'année 1986, elle a limité la production de son exploitation minière de spodumène, en Caroline du Nord, à un maxiumu de 45 % de sa capacité, alors que sa production au Chili atteignait 70 % et au Nevada, 75 %[1].

Un autre projet chilien de la Sociedad Minera Salar de Atacama, entreprise en corporation avec l'AMAX Inc. des États-Unis et la CORFO, en vue de l'extraction de potassium, de bore et de lithium à partir des saumures, dans la partie nord du Salar de Atacama (voir la figure 2), modifiera de façon radicale la situation mondiale de la production du lithium, s'il se déroule comme prévu. Le niveau de production initial de 2 800 t par année proposé pour 1990 équivaudrait au tiers de la production mondiale de lithium en 1985 (voir le tableau 6). Le processus relativement peu complexe de la récupération du lithium des saumures permettrait d'augmenter les niveaux de production (dont le contrôle relève de la Commission de l'énergie nucléaire du Chili) de 7 % par an, pour atteindre environ 13 700 par année ou 170 % de la production mondiale de 1985, peu après l'an 2010.

**Produits chimiques à base de lithium**

Le lithium est produit et vendu, en majeure partie, sous forme de carbonate de lithium et d'hydroxyde de lithium. La capacité de production occidentale de dérivés chimiques du lithium se monte à quelque 38 000 t d'équivalent en carbonate de lithium, alors que la consommation occidentale de lithium en 1985, sous toutes ses formes, n'était que d'environ 29 500 t[2]. On estime que les États-Unis, l'Europe de l'Ouest et le Japon sont tous dotés d'une productibilité suffisante pour fabriquer d'autres produits chimiques à partir de carbonate de lithium. L'Australie, qui envisage à l'heure actuelle la production du carbonate de lithium à partir du spodumène, pourrait éventuellement mettre sur pied une industrie chimique locale.

**Lithium, métal et alliages**

Peu de données sont publiées sur le lithium sous forme métallique. La capacité conjointe des producteurs occidentaux à cet égard est probablement de l'ordre de 600 t par an. Depuis quelques années, quelque 80 t par année sont utilisées dans la production de piles et

d'accumulateurs électriques. Les usines occidentales qui produisent le métal (voir la tableau 8), dont l'une, Métaux Spéciaux S.A., en France, a une capacité de production atteignant à peine 25 t par année sont toutes situées dans des pays industrialisés, et appartiennent à l'un ou l'autre des quarte groupes suivants : Foote Mineral, Lithco, Metallgesellschaft et Péchiney. Aucune donnée officielle n'est disponible sur la capacité de production ou la production de lithium en Chine ou en U.R.S.S.

Les fabricants d'avions en sont encore au stade des essais des alliages aluminium-lithium; l'industrie des alliages, en général, n'a pas dépassé les étapes de la recherche et du développement de la fonderie, du laminage et de la fabrication de ces alliages.

Contrairement à la production de lithium métal qui est largement réglementée par les sociétés d'exploitation du lithium, la majorité des moyens de production de l'aluminium-lithium ont été établis par des sociétés d'exploitation d'aluminium, notamment l'Alcan, l'Alcoa et la Péchiney.

De nouveaux moyens de production d'alliage ont été construits en Angleterre et en France, des pays dont l'industrie aéronautique est particulièrement importante. On rapporte que la British Alcan aluminium Limited de Birmingham, qui avait commencé, en mai 1985, le coulage de trois différents alliages d'aluminium-lithium sur une base régulière, approvisionnait, dès mars 1986, le marché à un rythme de 4 000 t par année. Plusieurs centaines de tonnes d'alliages produits par la Péchiney en France ont été transformés en produits semi-fabriqués.

Aux États-Unis, les fabricants d'alliages à venir ont fait d'importants progrès dans le domaine de la recherche et du développement des étapes de la fonderie, du laminage et de la fabrication des alliages; mais il reste encore à débuter la production commerciale ce qui ne manque pas se semer l'inquiétude parmi les clients potentiels.

Des composants d'aluminium-lithium, fournis par la Cegedur Péchiney, ont servi à la fabrication de la version originale du prototype "Rafale", un nouvel avion de combat de la société Avions Marcel Dassault-Bréguet Aviation. Le Airbus A320 sera le premier modèle Airbus doté de pièces d'aluminium-lithium (vu ses multiples appilications) au lieu de pièces faites d'alliages conventionnels. Celles-ci ont été fabriquées par le Rohr Industries Inc. de Chula Vista, en Californie. Le premier vol est prévu pour février 1987.

La demande en alliages aluminium-lithium de l'aéronautique pourrait bien, d'ici la fin du siècle, atteindre les 60 000 par année, ce qui nécessiterait 1 200 t par année de lithium pur. L'utilisation de ces alliages, que l'on estime être de deux à trois fois plus coûteux que l'aluminium, pourrait s'accroître de façon considérable en cas de chute du prix du lithium à haute teneur, nécessaire à leur métallurgie. La réussite de l'utilisation de ces alliages dans d'autres types de matériel de transport pourrait fort bien donner lieu à leur production et à leur fabrication au Canada.

Tableau 8

**Principaux producteurs de lithium métal et d'alliages aluminum-lithium, dans les pays occidentaux**

| Pays, société et lieu | Capacité (tonnes/an) |
|---|---|
| **A. Lithium métal** | |
| **France** | |
| Métaux Spéciaux S.A. (Groupe Péchiney), Pomblière-Saint-Marcel, Savoie | 25 (La capacité de métal, ou de l'oxyde a augmenté jusqu'à 200 t/an) |
| **Royaume-Uni** | |
| Lithium Corporation of Europe Ltd. (groupe Lithium Corporation of America), Liverpool | " " |
| **États-Unis** | |
| Foote Mineral Company Exton, PA | " " |
| Lithium Corporation of America (Lithco), Bessemer City, Caroline du Nord | " " |
| **Allemagne de l'Ouest** | |
| Chemetall GmbH (groupe Metallgesellschaft AG), Langelsheim | " " |
| Total (est.) | **600** |
| **B. Alliages aluminium-lithium** | |
| **France** | |
| Société Cegedur Péchiney, Issoire, Puy-de-Dôme | 3 500 (alliage, d'ici 1987) |
| **Royaume-Uni** | |
| British Alcan Aluminium Limited, usine Kitts Green, Birmingham | 4 000 (alliage) |
| **États-Unis** | |
| Aluminum Company of America (Alcoa), Pittsburgh, PA | 9 100[e] (alliage) |
| Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, Pleasant, CA | 900[e] (alliage) |
| Novamet Aluminum (groupe Inco Alloys International Ltd.), Wyckoff, NJ | 22[e] (alliage) |

Sources: Energie, Mines et Ressources Canada. "Pechiney to Build Aluminum-Lithium Plant", Metals Week, Vol. 56, n°. 19, 13 mai 1985, p. 8; "Aluminum-Lithium Goes Commercial", Metal Bulletin Monthly, n°. 171, mars 1985, p. 72.

[e] Estimation.

**Bibliographie**

1. Le personnel. "Foote Follows Lithco Hike", Metals Week, vol. 57, n° 2, 13 janvier 1986, p. 3.

2. Crozier, R.D. "Lithium: Resources and Prospects", Mining Magazine, vol. 154, n° 2, février 1986, p. 149.

3. Jordan, C.L. "Aluminium-Lithium Users Concerned About Supplies", American Metal Market, vol. 94, n° 47, 10 mars 1986, p.1 et 29.

4. Ibid.

5. Maria, E.D. "Rafale Fighter Debut in June", American Metal Market, vol. 94, n° 47, 10 mars 1986, p. 8A.

6. Jones, S.L. "Rohr Develops Method to Perforate Complex, Contoured Composite Parts", American Metal Market, vol. 94, n° 42, 3 mars 1986, p. 1 et 12.

7. Le personnel. "Lighter Airframes", Air Transport World, vol. 22, n° 7, juillet 1985, p. 76.

## PARTIE IV. POTENTIEL DE PRODUCTION CANADIENNE DE LITHIUM

Les utilisateurs canadiens de produits de lithium ne sont aucunement restreints à leurs sources d'approvisionnement actuelles. Pour chaque produit de lithium de première fusion, il existe un choix de fournisseurs étrangers et de sources de production possibles au Canada.

### Gisements de lithium

Au mois d'avril 1986, le seul gisement de lithium exploité au Canada était la propriété de la Tantalum Mining Corporation of Canada Limited, à Bernic Lake (Man.) où la construction d'un nouveau concentrateur, dont la capacité de production est de plus de 1 000 t de spodumène par mois, était achevée depuis peu. Ce gisement contiendrait au moins 5,9 millions de t de spodumène titrant 2,67 % de $Li_2O$ (voir le tableau 9).

D'importants gisements de lithium non exploités existent dans la plupart des régions du Canada, surtout au Québec, en Ontario, au Manitoba et dans les Territoires du Nord-Ouest[1] et 19 de ces gisements représentent chacun plus de 1 million de t de minerais. Plusieurs propriétés avaient été étudiées dans les années 50, lorsque le lithium fut l'objet d'un intérêt soudain en raison du rôle qu'il joue dans la fusion thermonucléaire.

**Québec.** La plus importante source de lithium actuellement non exploitée au Canada est le gisement de la "Quebec Lithium Corporation", de la société Mines Sullivan Inc., sur le territoire de la municipalité de Lacorne, entre Amos et Val-d'Or, qui contient quelque 18 millions de t de réserve titrant 1,3 % de $Li_2O$ dans les filons rocheux de pegmatite. Ce gisement a été exploité entre 1955 et 1965 et a produit plus d'un million de t de minerai, dont la plus grande partie était destinée à l'exportation aux États-Unis. En 1960, une usine de carbonate de lithium a été construite à Barraute; elle utilisait un nouveau procédé de lixiviation discontinue du carbonate mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec. Étant donné que ni la mine ni l'usine n'ont été exploitées pendant plus de vingt ans, il est presque certain qu'il faudrait remplacer tout l'équipement de traitement du minerai et de production chimique qui serait encore en place. Le ministère des Ressources naturelles a depuis perfectionné le procédé afin de permettre le traitement en continu au lieu de traitement discontinu[2].

**Ontario.** Il existe de nombreux gisements de spodumène près de Beardmore, dans le district de Nipigon. Dans les années 50, la Big Nama Mines Ltd. en a délimité un de 3,8 millions de t de minerai titrant 1,06 % de $LiO_2$ et a entrepris d'aménager une concession près de Nama Creek.

**Manitoba.** En plus du gisement de la Tantalum Mining Corporation of Canada Limited situé à Bernic Lake, près de Lac-du-Bonnet, dans le sud-est du Manitoba, on trouve d'autres gisements dans les districts de Herb Lake et de Cat Lake. Les filons rocheux de pegmatite de Buck, Coe et Pegli, dont est propriétaire la Lithium Corporation of Canada Limited, sont de petits gisements, non compris dans les districts de Bernic Lake et de Cat Lake au tableau 9, qui contiennent 726 000 t de réserve titrant 2,13 % de $Li_2O$.

Tableau 9

Principaux gisements de lithium au Canada

| Emplacement | Propriété | Capacité (en million de tonnes) | Qualité (pourcentage de $Li_2O$) | Remarques |
|---|---|---|---|---|
| **Québec** | | | | |
| 1. Authier, région Preissac-Lacorne | Société québécoise d'exploration minière (SOQUEM) | 5,8 | 1,14 | Essais à une profondeur de 122 m ouvert au deux extrémités |
| 2. Québec Lithium Corporation, municipalité de Lacorne | Mines Sullivan Inc. | 18,0 | 1,3 | À 172 m |
| **Ontario** | | | | |
| 3. Jean Lake, district Nipigon | Jean Lake Lithium Mines Ltd. (en 1981) | 1,5 | 1,3 | |
| 4. Lac la Croix, district du Lac la Croix | International Lithium Mining Corporation Limited (en 1976) | 1,4 | 1,2 | |
| 5. Nama Creek, district Nipigon | York Consolidated Exploration Ltd (en 1983) | | | |
| a) zone nord | | 2,5 | 1,11 | À 305 m |
| b) zone sud | | 1,4 | 0,95 | |
| 6. Root Lake, Roadhouse River, district de Root Lake | Consolidated Canadian Faraday Limited (en 1970) | 2,0 | 1,3 | |
| **Manitoba** | | | | |
| 7. Violet property, Crowduck Bay, district Herb Lake | H.L. Thompson, Cranberry Portage | 3,0 | 1,2 | |
| 8. Lit, Crowduck Bay, district Herb Lake | J.A. Syme, Winnipeg | 1,8 | 1,4 | Filon rocheux n°1; jusqu'à une profondeur de 305 m |
| 9. Irgon property, district Cat Lake | The Lithium Corporation of Canada, Limited | 1,1 | 1,51 | Jusqu'à une profondeur de 183 m. |
| 10. Spot property, district Cat Lake: | Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) | | | |
| a) Digue nord | | 1,4 | 1,25 | Jusqu'à une profondeur de 137 m. |
| b) Digue sud | | 2,3 | 1,3 | Jusqu'à une profondeur de 305 m |
| 11. Bernic Lake | Tantalum Mining Corporation of Canada Limited (TANCO) | 5,9 | 2,67 | 5 millions de t de Li non-dilué; 0,9 million de t: autres |
| **Territoires du Nord-Ouest** | | | | |
| 12. Ann, 48 km à l'est de Yellowknife | Magnum Holdings Limited | 3,0 | 1,92 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 13. Big, 21 km ENE de Yellowknife | Equinox Resources Ltd. | 7,2 | 1,47 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 14. FI, district Hidden Lake | Equinox Resources Ltd. | 13,9 | 1,19 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 15. Jim, district Hidden Lake | | 3,8 | 1,24 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 16. KI, district Hidden Lake | Equinox Resources Ltd. | 2,6 | 1,40 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 17. Nite, 15 km NE de Yellowknife | Equinox Resources Ltd. | 2,3 | 1,51 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 18. Thor, 112 km E de Yellowknife | Equinox Resources Ltd. | 8,4 | 1,50 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |
| 19. VO, 5 km N of Blaisdell Lake | Equinox Resources Ltd. | 3,1 | 1,48 | Jusqu'à une profondeur prévue de 152 m |

Sources: Energie, Mines et Ressources Canada, "Gisements minéraux du Canada non exploités en 1983", Bulletin Minéral MR 198, 308 p.; R. Mulligan "Lithium in Canada", Canadian Mining Journal, vol. 78, n°. 4, avril 1957, p. 121-126.

**Territoires du Nord-Ouest.** Le district de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest, est richement doté en ressources de lithium. Au milieu des années 70, au moins quatorze gisements de pegmatite distincts, représentant entre 15 000 t de $Li_2O$ à 2,2 % et 13 900 000 t de $Li_2O$ à 1,19 %, avaient été identifiés dans une zone située entre 13 et 113 km à l'est de Yellowknife[4]. Onze de ces propriétés, dont quatre sont accessibles par route toute-saison, appartiennent à Equinox Resources Ltd. de Vancouver.

**Produits chimiques à base de lithium**

Aucun produit chimique à base de lithium de première fusion n'est actuellement fabriqué au Canada. Des quantités considérables de carbonate de lithium et d'hydroxyde de lithium monohydrate ont été produites, de façon discontinue, à l'ancienne usine chimique, la Quebec Lithium Corporation, à Barraute, près de Val-d'Or (Québec) qui avait été mise en service en 1960 dans le but de fabriquer des produits chimiques. En 1964, des installations ont été ajoutées pour la production de chlorure de lithium[5], produit intermédiaire de la fabrication du lithium métal, mais aucun chlorure n'a pu être produit avant la fermeture de l'usine en 1965, en raison de l'absence de débouchés.

Un nouveau procédé de traitement continu pour la production de carbonate de lithium a été mis au point en 1976, et expérimenté en usine-pilote par le ministère des Ressources naturelles du Québec[6]. Des études de marché réalisées en 1978[7] indiquaient que la réouverture de la propriété et des installations chimiques de la Quebec Lithium Corporation était à l'époque économiquement irréalisable.

On a également envisagé la production du carbonate de lithium à partir du minerai produit à la propriété de la Tantalum Mining Company of Canada, au Manitoba. L'idée de la construction d'une usine de carbonate de lithium à Bernic Lake a été considérée pour la première fois en 1973, remise en question en 1975, puis ravivée vers la fin des années 70, mais remise en veilleuse en 1980, alors que l'industrie de l'aluminium connaissait une baisse de la demande[8].

**Lithium métal**

La combinaison i) production intérieure de spodumène, ii) croissance de la demande intérieure et mondiale, de lithium métal, surtout pour les piles et accumulateurs, et pour les alliages d'aluminium et lithium et, iii) disponibilité de l'énergie électrique à un coût relativement peu élevé, indique l'existence d'un potentiel de production du lithium métal au Canada.

La construction d'une usine canadienne en vue de la production de lithium métal à partir de matières premières canadiennes ou même importées, représente une solution de rechange a l'importation du métal. L'usine de Métaux Spéciaux S.A., en France, produisant 25 t par année, constitue un modèle pour une telle installation. Les principaux facteurs qui permettraient de déterminer l'emplacement éventuel de ce type d'usine

seraient les suivants: le coût de l'énergie électrique à cet endroit, les coûts de livraison du chlorure de lithium et du chlorure de potassium, et la proximité des marchés. Le Manitoba, la Colombie-Britanique et le Québec pourraient être retenus pour des sites éventuels.

Il faudrait approximativement trois ans pour mettre en production une installation à l'échelle commerciale, qui devrait également comprendre la production de produits chimiques à base de lithium.

**Bibliographie**


1. Énergie, Mines et Ressources Canada, "Gisements minéraux du Canada non exploités en 1983", Bulletin Minéral MR 198, 1984, 308 p.

2. Olivier, C.A. et Nenniger, E.H., "Continuous Process for Production of Lithium Carbonate", CIM Bulletin, vol. 72, n° 807, juillet 1979, p. 131-136

3. Mulligan, R., "Lithium in Canada", Canadian Mining Journal vol. 78, n° 4, avril 1978, p. 123.

4. Le personnel, "Large Lithium Deposit at Yellowknife", The Northern Miner, vol. 71, n° 23, 15 août 1985, p. 13.

5. Reeves, J.E., "Les minéraux lithinifères", Annuaire des minéraux du Canada 1965, p. 340.

6. Olivier, C.A. et Nenniger, E.H., loc. cit.

7. Roskill Information Services Ltd., The Economics of Lithium: Third Edition, 1979, p. 9.

8. Buckley, S., "Lithium - Recession Delays Market Lift Off", Industrial Minerals, n° 185, février 1983, p. 30.

## PARTIE V. SUBSTITUTS

On n'entrevoit pour le moment aucune pénurie de matières premières du lithium au Canada. Même si une telle interruption devait se produire, d'autres matières pourraient être utilisées, afin de remplacer les produits de lithium, pour les principales applications de ces produits au Canada; cependant, ces substituts seraient soit plus coûteux soit moins performants.

La cryolithe, le fluorure de calcium ou le fluorure d'aluminium pourraient remplacer le carbonate de lithium ou le fluorure de lithium pour la production d'aluminium métal à partir d'alumine[1].

Les savons à base de calcium et d'alumine pourraient remplacer les savons à base de lithium dans les graisses.

Pour la plupart des applications de l'industrie du verre et de la céramique, on pourrait utiliser le sodium, le potassium et autres fondants au lieu des produits chimiques et minéraux de lithium.

En outre, des produits de remplacement seraient facilement disponibles pour d'autres types d'applications importantes du lithium, qui n'en sont qu'à leurs débuts au Canada, par exemple, pour les piles et accumulateurs.

Les systèmes d'accumulateurs utilisant des anodes de zinc, de magnésium ou de mercure pourraient être utilisés à la place des accumulateurs de lithium rechargeables[2], mais leur rendement ne serait pas aussi bon pour toutes les applications. La technologie des accumulateurs au sodium ou au zinc pourrait remplacer celle comportant des anodes au lithium dans les systèmes d'accumulateurs rechargeables.

Au départ, les pièces fabriquées en aluminium métal (plus lourd) demeureront des solutions de remplacement possibles pour les pièces en alliage d'aluminium et lithium utilisées en aéronautique, car les technologies de fabrication resteront probablement très proches des techniques actuelles, pour éviter à l'industrie aéronautique d'avoir à dépenser des sommes considérables pour s'outiller de nouveau.

On considère cependant que l'emploi du lithium métal dans les réacteurs à fusion au deutérium-tritium (traité à la partie I) constitue un cas à part.

**Bibliographie**

1. Ferrell, J.E., "Lithium", Mineral Commodities Summaries, United States Bureau of Mines, 1986, p. 92.

2. Ferrell, J.E., "Lithium", un chapitre de Mineral Facts and Problems, édition 1985, p. 7.

## PARTIE VI. RÉSUMÉ

### Utilisations au Canada

L'industrie canadienne utilise le lithium sous forme de minéraux concentrés, de produits chimiques et de métal.

**Concentrés de minéraux de lithium:** On évalue à quelques 350 t par année la quantité de concentrés de minéraux de lithium exploitée, en majeure partie sous forme de spodumène, à partir de pegmatites, et utilisée sous cette forme dans la production d'émaux vitreux.

**Produits chimiques à base de lithium:** Au Canada, l'utilisation la plus importante du lithium réside dans les produits chimiques, principalement le carbonate. La Société canadienne de métaux Reynolds, limitée et l'Aluminium du Canada, Limitée utilisent au moins 75 % des 1 250 t de carbonate de lithium qui sont importées chaque année au Canada pour la production d'aluminium métal à partir d'alumine. On ajoute le produit chimique dans les cuves d'électrolyse pour réduire les pertes et les émissions de fluor et pour diminuer la consommation d'énergie. On utilise une partie du carbonate de lithium importé pour la fabrication de la céramique.

Un autre usage important des produits chimiques est celui, sous forme d'hydroxyde monohydrate, de la préparation de graisses à savon de lithium spéciales à usages multiples, représentant environ 70 % de toutes les graisses utilisées au Canada.

**Lithium métal:** Depuis le début des années 80, le lithium métal est de plus en plus utilisé comme anode dans les piles et accumulateurs. La compagnie Moli Energy Limited de Burnaby (C.-B.), qui produit actuellement quelque 4 000 piles par mois dans une usine-pilote, construit une installation en vue d'une production annuelle de 33,6 millions d'accumulateurs rechargeables au lithium. D'ici 1990, la demande annuelle en lithium métal de cette entreprise (évaluée en ce moment à qualques dizaines de kilogrammes par année) pourrait atteindre 35 t, soit 6 % de la capacité de production actuelle des pays occidentaux.

Hydro-Québec et la Electrofuel Manufacturing Company (Toronto) examinent, à l'heure actuelle, les possibilités de fabrication d'accumulateurs non rechargeables avec des anodes de lithium métal ou d'alliages à base de lithium. Des fonderies canadiennes utilisent de petites quantités de lithium métal pour éliminer l'oxygène et le soufre des moulages de cuivre et des laitons à conductivité élevée.

Les fabricants d'avions d'Europe et des États-Unis commencent tout juste à utiliser les alliages d'aluminium et lithium. Au Canada, l'importance de l'adoption de ces alliages sera déterminée par les résultats obtenus par des prototypes d'avions, comme le "Rafale" français et l'Airbus A320 européen.

Tout alliage d'aluminium et lithium, utilisé à l'avenir par les fabricants d'avions canadiens serait, du moins au début, vraisemblablement importé de fournisseurs étrangers comme la British Alcan Aluminium Limited, filiale de l'Aluminiuum du Canada, Limitée, dont l'usine est située près de Birmingham, en Angleterre.

Bien qu'il soit peu probable que la technologie de la fusion nucléaire à l'échelle commerciale voit le jour avant l'an 2010, il se peut que ce processus, dans lequel l'énergie serait produite à partir de la fusion contrôlée du deutérium et du tritium (obtenue par le bombardement du lithium avec des neutrons), donne lieu éventuellement à l'utilisation la plus importante du lithium. La demande canadienne future en lithium métal, en sels ou en composés de lithium, qui en fait un élément "stratégique", est impossible à prévoir en ce moment, car la quantité requise dépendra de la conception du réacteur choisi ainsi que du rythme de remplacement, au Canada, des centrales classiques d'énergie électrique par des réacteurs à fusion.

Au Canada, tout le tritium qui est maintenant utilisé dans les travaux expérimentaux sur la fusion nucléaire est tiré, comme sous-produit, des réacteurs nucléaires Candu qui ne consomment pas de lithium.

**Approvisionnement mondial**

La production mondiale de minléraux et de composés du lithium, qui se chiffrait en 1985 à environ 8 100 t (teneur pure) de lithium, est concentrée dans quelques pays, principalement les États-Unis, l'U.R.S.S., le Chili, la Chine et l'Australie.

En 1986, environ 80 % de la production occidentale de lithium provient des États-Unis, où il est produit par deux sociétés, la Foote Mineral Company et la Lithium Corporation of America, chacune fournissant environ la moitié de la production du pays. Le Chili, qui vient tout juste de mettre en service sa première usine d'extraction de saumure de lithium, dont sont propriétaires la Foote Mineral Company et la Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO), organisme gouvernemental chilien, en produit environ 16 %.

En 1985, les mines de pegmatite ont fourni environ 70 % de la capacité de production occidentale, qui est de 8 500 t par année (teneur pure); des installations d'extraction, en général moins coûteuses et dans lesquelles la saumure est pompée dans des gisements souterrains, puis concentrée par évaporation solaire, représentaient la part restante de cette production et la productibilité entière du Chili.

Jusqu'à 25 % de la production mondiale de concentrés et de composés de lithium est envoyée aux industries du verre et de la céramique, sous forme minérale concentrée. Le reste est transformé en carbonate, en hydroxyde ou en chlorure de lithium dans des usines situées près des exploitations minières ou installations d'extraction.

On prévoit la construction prochaine, au Chili, d'une deuxième usine d'extraction de saumure de lithium, par la CORFO et l'AMAX Inc. des États-Unis. Cette usine, dont la mise en exploitation à raison de 2 800 t

par année de teneur en lithium est prévue pour 1990, fera augmenter de plus du tiers la capacité de production mondiale. En outre, ce projet à long terme comporte une expansion de l'ordre de 7 % par année, soit un total de 13 700 t par an c'est-à-dire 170 % de la production mondiale de 1985.

En occident, la production de lithium métal, qui est d'environ 600 t par an, provient de la France, du Japon, du Royaume-Uni, des États-Unis et de l'Allemagne de l'Ouest.

Les alliages d'aluminium et lithium, dont la masse peut être jusqu'à 10 % inférieure à celle de l'aluminium métal, ce qui permettrait à l'industrie aéronautique soit d'augmenter la charge utile des appareils soit d'en diminuer la consommation de carburant, sont maintenant produits à l'échelle commerciale en France et au Royaume-Uni. On prévoit qu'ils le seront également aux États-Unis en quantités beaucoup plus importantes. L'Airbus A320, dont la mise en service est prévue pour février 1987, sera le premier appareil du genre qui utilisera des pièces en alliage d'aluminium et lithium.

**Sources d'approvisionnement actuelles du Canada**

On a récemment entrepris la production de spodumène à la mine de la Tantalum Mining Corporation of Canada Limited de Bernic Lake (Man.), dont la capacité de production annuelle est d'au moins 12 000 t de concentrés. Toute cette quantité est exportée à des consommateurs qui ont trouvé que ce spodumène convient particulièrement bien à leurs besoins.

L'importation subvient à tous les besoins du Canada en matière de produits à base de lithium. Parmi les divers produits utilisés, seul le stéarate de lithium est produit au Canada, en majeure partie au cours de la fabrication de graisses de lithium, à partir de lithium importé.

Les États-Unis sont, de loin, la plus importante source d'importation de produits de lithium pour le Canada. Cependant, le Chili, nouvelle source majeure d'approvisionnement, a récemment commencé à livrer au Canada des quantités substantielles de carbonate de lithium.

Chaque année, environ 140 t d'hydroxyde de lithium monohydrate sont importées au Canada, surtout en provenance des États-Unis, mais aussi, en petites quantités, de la République populaire de Chine.

**Potentiel de production canadienne de lithium**

En avril 1986, la Tantalum Mining Company of Canada Limited (TANCO) a entrepris, dans sa nouvelle usine de concentration de Bernic Lake, au Manitoba, la production de concentré de spodumène entièrement destiné à l'exportation. Tous les besoins actuels en spodumène de l'industrie ontarienne de la céramique pourraient être satisfaits par cette seule source, quoique, probablement, à un coût plus élevé.

On a identifié d'importants gisements de lithium au Québec, en Ontario, dans les Territoires du Nord-Ouest et ailleurs au Manitoba. Ces gisements sont demeurés inexploités à cause deleur éloignement et des coûts de production potentiellement plus élevés que ceux d'autres producteurs mondiaux.

Le gisement de la Quebec Lithium Corporation de la société Mines Sullivan Inc., près de Val-d'Or au Québec (Québec), a produit des concentrés de spodumène de 1950 à 1965, mais a mis fin à ses activités, faute de débouchés pour ses produits. La technologie utilisées par la Quebec Lithium Corporation pour la production de carbonate de lithium a été perfectionnée par le ministère des Ressources naturelles du Québec, mais le marché intérieur des produits chimiques à base de lithium est présentement trop restreint pour justifier la production de céramique au Québec ou au Manitoba.

La croissance prévue de la demande intérieure et mondiale de lithium métal pour les accumulateurs électriques et les alliages d'aluminium et lithium, de même que la disponibilité au Canada d'une énergie électrique relativement peu coûteuse, indiqueraient l'existence d'un potentiel réel pour la production canadienne de lithium métal à partir de produits chimiques importés ou même à partir de substances canadiennes de lithium. La mise sur pied d'une exploitation à l'échelle commerciale pourrait prendre trois ans.

**Substituts**

On n'entrevoit pour le moment aucune pénurie des approvisionnements de lithium au Canada. Si toutefois une telle pénurie devait se produire, on pourrait utiliser des substituts comme la cryolithe, le fluorure de calcium ou le fluorure d'aluminium pour remplacer le carbonate de lithium dans l'électrolyse de l'aluminium, des savons à base de calcium ou d'aluminium pour remplacer les savons de lithium dans les graisses à savon de lithium, et du sodium, du potassium ou autres fondants, au lieu des minéraux et produits chimiques du lithium, dans le verre et la céramique, à un coût cependant plus élevé ou à rendement moindre.

Pour ce qui est à venir, d'autres technologies des accumulateurs pourront remplacer celles qui utilisent le lithium; on prévoit qu'il demeurera possible, avant que les fabricants d'avion n'aient rééquipé leurs chaînes de montage, de remplacer les pièces en aluminium et lithium par des pièces en aluminium. On considère cependant que le lithium métal pour les réacteurs à fusion au deutérium-tritium est irremplaçable.

## PARTIE VII. CONCLUSIONS

1. Les quatre principaux produits du lithium qui sont nécessaires à l'industrie canadienne proviennent en majeure partie de sources étrangères sûres:

- Le **carbonate de lithium**, utilisé principalement dans l'électrolyse de l'aluminium; quelque 1 300 t ont été importées en 1985 au coût de 6 millions de dollars, dont 94 % des États-Unis, et 6 % du Chili;

- l' **hydroxyde de lithium monohydrate**, pour la fabrication de graisses à savon de lithium à usages multiples; 150 t, évaluées à 800 000 dollars ont été importées en 1985, soit 89 % en provenance des États-Unis et 11 % de la République populaire de Chine;

- Les **concentrés de minéraux de lithium** viennent de nombreux pays, dont l'Australie et les États-Unis; 350 t sont utilisées chaque année par l'industrie de la céramique;

- Le **lithium métal**, importé des États-Unis, utilisé à l'heure actuelle en faibles quantités (de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes par année) par l'industrie des piles et accumulateurs.

2. La productibilité mondiale est variable, mais croissante, surtout à cause de développements considérables au Chili et, prochainement, en Bolivie. En outre, l'utilisation de substituts ne pose aucun problème grave.

3. La sûreté d'approvisionnement n'est problématique pour aucun des produits à base de lithium utilisés au Canada.

4. Dans le domaine de la fusion nucléaire contrôlée du deutérium et du tritium, le lithium convient particuièrement bien à la production de tritium employé comme caloporteur, et peut donc être considéré comme d'importance "stratégique". Il est peu probable que la production d'énergie à l'échelle commerciale par ce moyen ne se concrétise avant l'an 2010.

5. Il est possible que le traitement de concentrés et de produits chimiques à base de lithium présente plus tard un potentiel intéressant pour le Canada. On pourrait utiliser les concentrés de lithium que le Canada produit au Manitoba et pourrait produire ailleurs, dans la fabrication de produits chimiques, en particulier le carbonate de lithium et le chlorure de lithium, pour la production de lithium métal destiné aux marchés intérieurs et à l'exportation. L'augmentation des quantités de lithium utilisées pour la production intérieure de piles et accumulateurs et l'utilisation croissante d'alliages d'aluminium et lithium dans l'industrie aéronautique et, peut-être, pour la fabrication d'autres types de matériel de transport au Canada, justifieraient une surveillance permanente de la situation.

## ANNEXE 1

**Prix de produits chimiques sélectionnés à base de lithium, février 1986**

| | (Équivalent en $ CAN des prix/kg) |
|---|---|
| 1. n- Butyllithium solution 15 % | |
| a) lots de 1 000 lb ou plus, en cylindres, base 100 %, livré | 47,58 |
| b) réservoirs, 3 000 lb min,. base 100 % livré | 45,42 |
| 2. Bromure de lithium | |
| a) anhydride, en barils, plein camion, livré | 19,31 |
| b) solution, même base | 12,32 |
| 3. Carbonate de lithium, poudre, barres, wagonnée, plein camion, livré | 4,62 |
| 4. Chlorure de lithium | |
| a) anhydride, wagonnée, plein camion, livré | 10,22 |
| b) solution, en barils, wagonnée, plein camion, livré | 9,05 |
| 5. Fluorure de lithium, en barils, wagonnée, plein camion, livré | 15,09 |
| 6. Hydroxyde de lithium, monohydrate, en barils wagonnée, plein camion, livré | 5,94 |
| 7. Hypochlorite de lithium, wagonnée, plein camion, à l'usine | 3,29 |
| 8. Stéarate de lithium, en sacs, wagonnée, fret admis | 3,11 |

Sources: Chemical Marketing Report, vol. 229, n°. 7, 17 février 1986, p.33 et 36; "Exchange rate, The Globe and Mail, 15 février 1986, p. B-7.

ANNEXE 2

Tarifs douaniers canadiens appliqués aux produits de lithium importés

| N° tarifaire | | Tarifs | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Tarif préférentiel britannique | Tarif de la nation la plus favorisée | Tarif général (%) | Tarif general préférentiel |
| 71100-1 | Spodumène | 11,1 | 11,1 | 25,0 | 7,0 |
| 92828-1 | Hydrate de lithium, hydroxyde de lithium, oxyde de lithium, peroxyde de lithium | 1,9 | 1,9 | 25,0 | 1,0 |
| 92830-1 | Chlorure de lithium | 10,0 | 12,8 | 25,0 | 8,5 |
| 92833-1 | Bromure de lithium, sels de lithium | 1,9 | 1,9 | 25,0 | 1,0 |
| 92842-1 | Carbonate de lithium | 10,0 | 12,8 | 25,0 | 8,5 |
| 92916-1 | Citrate de lithium | 10,0 | 12,8 | 25,0 | 8,5 |

| N.P.F.: Réductions en vertu du GATT (à compter du 1er janvier de l'année indiquée). | 1987 (%) |
|---|---|
| 71100-1 | 10,2 |
| 92828-1 | en franchise |
| 92830-1 | 12,5 |
| 92833-1 | en franchise |
| 92842-1 | 12,5 |
| 92916-1 | 12,5 |

Source: Tarif des douanes, 1986, Revenu Canada, Douanes et Accise.

## ANNEXE 3
## EXAMEN DE LA SITUATION DE DIVERS PAYS

### Allemagne de l'Ouest

La Chemetall Gmbh, une filiale de Metallgesellschaft A.G., fabrique du lithium métal et toute la gamme des composés de lithium à l'usine Hans-Heinrich-Hütte de Langelshein. C'est là qu'on a produit pour la première fois, il y a 60 ans, du carbonate de lithium en quantité industrielle [40,41].

### Argentine

Jusqu'à présent, l'Argentine n'a produit que de très faibles quantités de minéraux à base de lithium, à partir des pegmatites des provinces de Catamarca et de San Luis[1].

Toutefois, ce pays a un potentiel de production de coproduits ou sous-produits de lithium provenant des saumures de Salina del Rincón, province de Salta, et du gisement de Salar del Hombre Muerto, à la frontière Catamarca-Salta[2] (voir la figure 2), ainsi que des gisements de sel de la province de La Pampa[3]. En février 1986, une compagnie argentine, Party Sasimagi, a entrepris la construction d'une usine chimique pour le traitement de sels de lithium, de magnésium et de potassium extraits de Salina del Rincón. Le début de la production de quelque 6 000 t par année de chlorure et de sulfate de potassium est projeté pour la fin de 1986; la production de carbonate de lithium devrait commencer vers la fin de 1987, à un taux initial de 800 t par année[4].

### Australie

En 1982, Greenbushes Tin Ltd. a entrepris l'exploitation de minerai de lithium extrait d'une vaste zone de pegmatite contenant de l'étain, du tantale, du lithium et du niobium, située près de Bunbury, en Australie Occidentale. En 1985, la production de spodumène atteignait 11 200 t[5]. On prévoit que les ventes en 1986 s'accroîtront à 16 000 t.

Au début de 1986, la compagnie étudiait la construction d'une usine de carbonate de lithium pouvant produire 5 000 t par année. La majeure partie de cette production serait vendue à la compagnie C. Itoh du Japon et à Chemetall de l'Allemagne de l'Ouest[6].

### Bolivie

On estime que la couche de sel de la salar de Uyuni (voir la figure 2) contiendrait au moins 5 millions de t de lithium, 3 millions de t de bore et 100 millions de t de potassium [7].

En 1985, le gouvernement bolivien a constitué une société, la Complejo Industrial de Recursos Evaporiticos del Salar de Uyuni (CIRESU), afin d'assurer la coordination de cette exploitation[8]. Une étude de faisabilité sur la production de lithium fait partie des priorités de la CIRESU[9]. On trouve également du lithium associé à du bore dans le gisement de Rio Grande, au nord de Salar de Uyuni.

**Brésil**

Le Brésil produit depuis longtemmps de l'amblygonite, du lépidolite, de la pétalite et du spodumène. La Arqueana de Minérios e Metais est la principale entreprise qui extrait ces minerais, et dont les exploitations sont situées dans le district d'Araçuai-Itinga, le long de la rivière Jequitinhonha, dans le nord-est de Minas Gerais[10].

La NUCLEMON - Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. produit du carbonate, de l'hydroxyde, du chlorure, et du fluorure de lithium à partir de l'amblygonite, à une usine de Santo Amaro, dans l'État de San Paulo[11].

**Chili**

Le Chili, qui n'a commencé à exploiter le lithium qu'en 1984, contribue à près de 11 % de la production mondiale.

La Sociedad Chilena de Litio Limitada, une entreprise en coparticipation entre la Foote Mineral Company des États-Unis (55 %) et la Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO)[12], organisme gouvernemental chilien (45 %), pompe de la saumure riche en lithium de la couche de sel et la concentre dans des bassins d'évaporation solaire, à Chépica del Salar, près de Peine, dans le sud de la vaste Salar de Atacama[13] (voir la figure 2).

Les saumures concentrées sont envoyées par camions à Pan de Azucar, sur la Salta, aux chemins de fer d'Antofogasta, puis, par trains, à l'usine de production de carbonate de lithium de 6 300 t par année de la compagnie, à La Negra, près d'Antofogasta.

Au début de 1986, une nouvelle société, réunissant la Sociedad Minera Salar de Atacama (Minsal Ltda.), l'AMAX Exploration Inc. (63,75 %), la Molibdenos y Metales S.A. (Molymet), une filiale de l'AMAX (11,25 %), et la CORFO (25 %), a été constituée pour l'exploitation de saumures dans la région nord de Salar de Atacama. La production annuelle de minéraux prévue atteindrait quelque 500 000 t de chlorure de potassium, 250 000 t de sulfate de potassium, 30 000 t d'acide borique et, au début, jusqu'à 2 800 t d'équivalent en lithium métal en 1990. Toutefois, la production équivalente en lithium métal, contrôlée par la Commission de l'énergie nucléaire du Chili, pourrait ultérieurement augmenter à un niveau annuel de 7 %, jusqu'à concurrence de 13 700 t par année [14].

**Chine**

La Chine est bien pourvue en ressources de lithium dans les pegmatites et dans les saumures du bassin Qaidam, dans la province de Qinghai. Aucune donnée statistique sur la production n'est fournie mais l'on sait que la Chine produit du spodumène provenant de diverses régions et exporte du carbonate et de l'hydroxyde de lithium ainsi que du lithium métal.

**États-Unis**

Les États-Unis sont le premier producteur mondial de minéraux et produits de lithium.

La Foote Mineral Company, une filiale de la Newmont Mining Corporation, exploite le spodumène à King's Mountain, en Caroline du Nord, et récupère le lithium à partir de la saumure à Silver Peak, dans le Nevada. La production de la société en 1984 équivalait à quelque 11 700 t de carbonate de lithium[30]. La société fabrique des produits de lithium à Frazer, en Pennsylvanie, à New Johnsonville, dans le Tennessee, et à Sunbright, en Virginie[31]. En 1984, cette société a entrepris l'agrandissement de son installation de production de chlorure de lithium, pour répondre à la demande croissante de lithium métal[32].

La Lithium Corporation of America, une filiale de la FMC Corporation, exploite le spodumène et produit du lithium métal et des produits chimiques de lithium dans son usine de Bessemer City, en Caroline du Nord[33]. En 1984, la société a produit quelque 14 700 t d'équivalent en carbonate de lithium, dans ses exploitations de Caroline du Nord[34].

L'Aluminum Company of America (Alcoa), la Kaiser Aluminum & Chemical Corporation et la Novamet Aluminum sont à la fine pointe du développement nord-américain dans le domaine des alliages d'aluminium et de lithium.

L'Alcoa peut mouler des lingots de 4,5 t dans une usine située près de Pittsburgh, et produire des feuilles de 4 t à son installation de Davenport, dans l'Iowa[35]. La Kaiser peut mouler des lingots de 4,5 t à son exploitation de Pleasant, en Californie.

La Novamet Aluminum, à Wyckoff, dans le New Jersey, une unité de l'Inco Alloy Products Company, fabrique des alliages par compression à chaud dans des billettes de poudres métalliques traitées[36], de 100 à 150 kg[37],prêtes à être transformées dans des produits tels que des extrusions, des pièces de forge et des tôles.

La société International Light Metals, une filiale de la Nippon Kokan KK du Japon, fondée à partir des anciennes exploitations de la Martin Marietta Corporation de Torrance, en Californie, est également reconnue pour avoir développé une capacité de production de moulage de lingots d'aluminium et lithium[39].

**France**

La France ne produit pas de minéraux de lithium. Cependant, on connaît l'existence d'un important gisement de lithium, d'étain, de tantale, de béryllium et de niobium aux Échassières, à Allier[15].

Métaux Spéciaux S.A., filiale de Péchiney, exploite une usine de lithium métal produisant 25 t par année à Pomblière-Saint-Marcel, en Savoie[16]. Une autre filiale de cette compagnie, Cegedur, projette

l'exploitation d'une usine d'alliages de lithium et aluminium pour 1987, à Issoire, Puy-de-Dome[17]. Des emplacemments ont été prévus pour faciliter le développement de la capacité de production en alliages de 3 500 t par année et la faire passer à 12 000 t par année[18].

Péchiney peut couler des lingots de 1,5 t d'aluminium-lithium à son centre de recherche de Voreppe. La société a déjà utilisé plusieurs centaines de t d'alliages destinés à la fabrication de produits semi-finis à ses filiales : Cégédur Issoire (feuille et plaque), Cégédur Montreuil-Juigné (extrusions), Aviatube Nantes (tubes étirés) et Forgéal Issoire (pièces coulées sous pression et par gravité[19].

**Japon**

Le Japon ne produit aucun minéral de lithium, mais il est un grand fabricant de produits chimiques de lithium.

La Honjo Chemical Corporation produit des matériaux pour piles; la Nihon Lithium Corp., dans laquelle la Foote Mineral Company a un intérêt, fabrique la plupart des types de produits chimiques, y compris le butyllithium, tout comme l'Asian Lithium Co[20].

Plusieurs sociétés japonaises, notamment la Kobe Steel Ltd., la Sumitono Electric Industries Ltd., et la Sumintomo Light Metals Industries Ltd., envisagent le développement de techniques métallurgiques pour la production d'alliages d'aluminium et lithium. Sumitomo Light Metals a mis au point un alliage d'aluminium, de magnésium et de lithium convenant à une utilisation comme matériau de construction pour les réacteurs à fusion nucléaire[21].

**Namibie**

La SWA Lithium Mines Limited produit une petite quantité de lépidolite et de pétalite, à partir d'un gisement de pegmatite, près de Karibib[22].

**Pays-Bas**

Jan de Poorter, à Geertruidenberg, est un important broyeur de minéraux de pegmatite importés d'Afrique et d'Amérique du Sud entrant dans la composition de produits de céramique[23].

**Portugal**

Le Portugal, qui exploite de petites quantités de lépidolite, est le seul producteur de minéraux de lithium de l'Europe occidentale[24].

**Royaume-Uni**

Aucun minéral de lithium n'est récupéré au Royaume-Uni; cependant, on y fabrique du lithium métal[27] et toute une gamme de catalyseurs de lithium[28] pour caoutchoucs synthétiques spéciaux et polymères à partir de matières premières importées, à l'usine de Broomborough, Merseyside, de la Lithium Corporation of Europe, Ltd., filiale de la Lithium Corporation of America.

En 1985, la British Alcan Aluminium Limited, filiale de l'Aluminium du Canada Limitée, a ouvert une nouvelle usine de 1 000 t par année à Kitts Green, près de Birmingham. Celle-ci peut produire des lingots d'aluminium et lithium de 3 t et des billettes pour la fabrication de produits destinés à l'industrie aéronautique[29].

**U.R.S.S.**

L'U.R.S.S. est un important producteur de tous les produits de lithium; cependant en Occident, on possède peu de renseignements sur son industrie de lithium. On connaît l'existence de pegmatites lithinifères dans la péninsule de Kola, dans l'Oural, dans le Turkestan, en Ukraine et dans le Transbaikalia, où l'on trouve également des saumures lithinifères[25].

L'U.R.S.S. exporte de l'hydroxyde de lithium et du carbonate de lithium[26].

**Zaïre**

La Compgnie Géologique et Minière des Ingénieurs et Industriels Belges (Cogémines), ainsi que Zairétain (un organisme du gouvernement du Zaïre), sont propriétaires d'un important gisement de pegmatite, à Kitolo, pouvant produire de l'étain, du niobium-tantale et du lithium[42]. Un gisement semblable est présent à Manono, dans la province de Shaba.

**Zimbabwe**

Le Zimbabwe a été depuis longtemps un important exportateur de minéraux de lithium pour l'industrie de la céramique. Du lépidolite, de la pétalite, de la pollucite et du spodumène de plusieurs qualités y sont préparés à partir de la pegmatite extraite de la carrière à Al Hayat de la Bikita Minerals (Pvt.) Ltd., une filiale de la B.P. Minerals Ltd., du Royaume-Uni. L'usine est située à Glen Cova, quelque 67 km à l'ouest de Fort Victoria[43].

**Bibliographie**

1. Roskill Information Services, Limited, The Economics of Lithium, 3e édition, 1979, p. 5.

2. Velasco, F., "The Mineral Industry of Argentina", U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook 1983, prétirage, p.9.

3. Velasco, p., "The Mineral Industry of Argentina", U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbok 1982, prétirage, p. 15.

4. Le personnel, "Argentina to Build Salt Processing Plant" Latin American Mining Letter, vol. 5, n° 4, 19 février 1986, p. 4.

5. Le personnel, "Greenbushes Hedges Its Tin", Mining Journal, vol 306, n° 7847, 10 janvier 1986, p. 28-29.

6. Le personnel, "Australia May Get Lithium Plant", Metals Week, vol. 56, n° 9, 4 mars 1985, p.8.

7. Velasco, P., "The Mineral Industry of Bolivia", Minerals Yearbook 1981, Vol. III, International, U.S. Bureau of Mines, p. 150.

8. Le personnel, "Bolivia: Go Ahead for Uyuni Salt Deposits", Latin American Mining Letter, vol. 4, n° 9, 8 mai 1985, p. 1.

9. Le personnel, "Bolivian Salt Company Commences Operations", Latin American Mining Letter, vol. 4, n° 15, 1er août 1985, p. 1.

10. Afgouni, K. et Silva Sa, J.H., "Lithium Ore in Brazil", Energy, vol 3, n° 3, 1978, p. 247-253.

11. Republica Federativa do Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produçao Mineral, "Sumario Mineral 1983", p. 62-63.

12. Le personnel, "New Lithium Frontier in Chile", Foote Prints, vol. 47, n° 1, 1984, p. 2-14.

13. Coad, M., "Lithium Production in Chile's Salar de Atacama", Industrial Minerals, n° 205, octobre 1984, p. 27.

14. Le personnel, "New Chilean Lithium Venture", Metal Bulletin, n° 7059, 7 février 1986, p. 7.

15. Le personnel, "Les Métaux Stratégiques", Industrie Minerale - Mines et Carrières, vol. 67, juillet 1985, p. 471.

16. Le personnel, "Pechiney Aluminum/Lithium Plant Okayed", Metals Week, vol. 56, n° 44, 4 novembre 1985, p. 8.

17. Le personnel, "Pechiney to Build aluminum-Lithium Plant", Metals Week vol. 56, n° 19, 13 mai 1985, p. 8.

18. Journal Français de l'Électrothermie, "Information : Ferro-alliages et Métaux; Aluminium-lithium : les Approvisionnements", Journal Français de l'Électrothermie, n° 8, juin-juillet 1985, p. 17.

19. Péchiney Aluminium, "Aluminium Lithium Cegedur", 1985, n.p.

20. Buckley, S., "Lithium - Recession Delays Market Lift Off", Industrial Minerals, n° 185, février 1983, p. 31-32.

21. Furukawa, T., "Aluminum-Lithium Applications Focus of Japanese Study", American Metal Market, vol. 93, n° 19, 20 juin 1985, p. 4-5.

22. Roskill Information Services Limited, op. cit., p. 16.

23. Buckley, S., op. cit., p. 32-33.

24. Ibid.

25. Roskill Information Services Limited, op. cit., p. 24.

26. Buckley, S., op. cit., p. 32.

27. Le personnel, "Lithco Expanding Capacity in Europe", Metals Week, vol. n° 14, 8 avril 1985, p. 6.

28. Buckley, S., op. cit., p. 32.

29. Journal Français de l'Électrothermie, op. cit., p. 17.

30. Foote Mineral Company, "Annual Report 1984", p. 3.

31. Ferrell, J.E., "Lithium", 1984 Bureau of Mines Minerals Yearbook, prétirage, p. 2.

32. Foote Mineral Company, "Annual Report 1984", p. 3.

33. Ferrell, J.E., "Lithium", 1984 Bureau of Mines Minerals Yearbook, prétirage, p. 2.

34. Gulf Resources & Chemical Corporation, "1984 Annual Report", p. 41.

35. Journal Français de l'Électrothermie, op. cit., p. 17.

36. Novamet Aluminum, "Novamet Aluminum Brochure", c : 1985, n.p.

37. Journal Français de l'Électrothermie, op. cit., p. 17.

38. Yafie, R.C., "NKK to Use Holdings to Build Bridge Linking Marketing, Technology with Japan" dans American Metal Market, vol. 93, n° 117, 20 juin 1985, p. 1, 7.

39. Quist, W.E., Narayanan, G.H. et Wingert, A.L., "Aluminum-Lithium Alloys for Aircraft Structure - An Overview", Sanders, Jr., T.H. et Starke, Jr., E.A., (éd.), Aluminum-Lithium Alloys II, p. 327.

40. Bauer, R.J., "Lithium in Europe (Summary)", Energy, vol. 3, n°3, 1978, p. 241.

41. Thieler, E., "50th Anniversary of the Hans-Heinrich-Hütte at Langelsheim", Metallgesellschaft, Review of the Activities, New Series, n° 6, 1963, p. 3-15.

42. Ferrell, J.E., "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Figures, 1985 Edition", p. 3.

43. Wegener, J.E., "Profile on Bikita-Processed Petalite the New Priority" dans Industrial Minerals, n° 165, juin 1981, p. 51-53.

## ANNEXE 4
## BIBLIOGRAPHIE

**Piles**

Brookman, M.J., "Why Are There So Many Batteries?", Design News, vol. 41, n° 11, 3 juin 1985, p. 116-120.

Buckley, S., "Lithium - Recession Delays Market Lift Off", Industrial Minerals, N° 185, février 1983, p. 25-35.

Collins, D.H., (éd.), "Papers Presented at the 2nd International Meeting on Lithium Batteries, Paris, France, April 25-27, 1984", Journal of Power Sources, vol 14, n° 1-3, janvier-mars 1985, 268 p.

Dey, A.N., (éd.), "Proceedings of the Symposium on Lithium Batteries", Pennington, NJ, The Electrochemical Society, Inc., 1984, 450 p.

Duracell Inc., "Lithium/Sulfur Dioxide Primary Cells and Batteries", Bulletin PB2100, Bethel, CT, Duracell Inc., 1986, 15 p.

Florida Atlantic University, "Proceedings of the Second International Lithium Battery Technology and Application Seminar and Workshop, March 4-6, 1985, Boca Raton, FL, Atlantic University, n.d., n.p.

Gabano, J.-P. (éd.), Lithium Batteries, Toronto, Academic Press, 1983, 455 p.

Moli Energy Limited, "Development and Testing of a Large Lithium Molybdenum Disulfide Battery", Canadian Electrical Association Research Report 313 U 416, Vancouver, B.C., Moli Energy Ltd., 1985, 40 p.

Moli Energy Limited, "Molicell Technical Information", Burnaby, B.C., n.d., n.p.

Posa, J.G., "Lithium-based Batteries: Charged and Ready to Back Up CMOS Systems", Electronic Design, vol. 33, n° 6, 14 mars 1985, p. 43-46.

Powers, D., "Lithium Cells Suit High-energy Military Needs", EDN (Electronic Design News), vol. 30, n° 8, 11 avril 1985, p. 39-49.

United States, General Accounting Office, "Army's Procurement of Batteries: Magnesium vs Lithium", GAO/NSIAD-85-124, 26 septembre 1985, 7 p.

Venkatasetty, H.V., (éd.), "Lithium Battery Technology", Toronto, John Wiley & Sons, 1984, 247 p.

**Énergie de la fusion**

Barrett, W.T. et Kunasz, I., "Lithium for Thermonuclear Fusion Reactors", D.M. Considine (éd.), "Energy Technology Handbook", New York, McGraw-Hill Book Company, 1977, p. 5-182, 5-185.

Halpern, G.M., "Fusion Energy" M. Grayson (éd.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3e édition, vol. 11, Toronto, John Wiley and Sons, p. 590-603.

Hartley, J.N., Gore, B.F., et Young, J.R., "Potential Lithium Requirements for Fusion Power Plants", Energy, vol. 3, n° 3, juin 1978, p. 337-346.

Smith, D.L., "Blanket Comparison and Selection Study - Final Report", Argonne National Laboraroty, ANL/FTP-84-1, vol. 1, p. 3-22.

Symons, E.A., "Lithium Isotope Separation: A Review of Possible Techniques", Canadian Fusion Fuels Technology Project Report CFFTP-6-85036, Toronto, Ontario Hydro, 1985, 26 p.

**Lithium métal et alliages de lithium**

Alcan International Limited, "LITAL - Current Data for Aluminium-Lithium Alloys", Chalfont Park, Gerrards Cross, Royaume-Uni, n.d., 6 p.

Bretz, P.E., et Sawtell, R.R., "Alithalite Alloys: Progress, Products and Properties", document présenté à la Third International Aluminium-Lithium Conference, University of Oxford, Angleterre, 8 au 11 juillet 1985, 12 p.

Cieslak, S.J., Hart, R.M., Mehr, P.L., et Mueller, L.N., "ALCOA, Alithalite Alloy 2090: Technical Information", document présenté à la Seventeenth International Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE) Technical Conference, Kianesha Lake, NY, États-Unis, 22-24 octobre 1985, 35 p.

Condom, P., "Aluminium-Lithium Alloys: Massive Investment in a New Material", Interavia, vol. 39, n° 11, november 1984, p. 1261-2.

Crozier, R.D., "Lithium: Resources and Prospects", Mining Magazine, vol. 154, n° 2, février 1986, p. 148-152.

Foote Mineral Company, "Lithium Metal", Technical Data Bulletin 101, Exton, PA, États-Unis, n.d., n.p.

Grimes, R. et Miller, W.S., "Current Status of the Development of Aluminum-Lithium Alloys for Aerospace Application", document 8305-050 présenté à la 1983 American Society for Metals Congress, Philadelphie, PA, États-Unis, 3-6 octobre 1983, 19 p.

Haflich, F., "Aluminum-Lithium Alloys' Debut Nears", American Metal Market, vol. 94, n° 47, 10 mars 1986, p. 6A.

Kubel, E.J., Jr., "Al-Li Alloys: New Hope for Weight Watchers", Materials Engineering, n° 102, avril 1985, p. 41-44.

Kuzela, L. et Terasko, J., "Aluminum Banks on Alloy in Fight with Composites", Industry Week, vol. 221, n° 2, 16 avril 1984, p. 74,77.

Lowndes, J.C., "Alcoa Producing Lighter Lithium Alloy", Aviation Week & Space Technology, 27 février 1984, vol. 120, n° 9, p. 68-71.

Le personnel, "Lightweight Metal Alloy Attracts Aircraft Makers", New Scientist, vol. 105, n° 1449, 28 mars 1985, p. 27.

Nussbaum, A.I., "International Aluminum-Lithium Conference at Oxford, England", Light Metal Age, vol. 3, N° 7 et 8, août 1985, p. 5-7, 28.

Péchiney Aluminium, "Aluminium Lithium Cégédur", Paris, France, 1985, 5 p.

Sanders, T.H., Jr., et Starke, E.A., (éd.), "Aluminum-Lithium Alloys: Proceedings of the First International Aluminum-Lithium Conference, Stone Mountain, GA, U.S.A., 19-21 mai 1980", Warrendale, Pa., American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 1981, 376 p.

Schelleng, R.D. et Donachie, S.J., "Mechanically Alloyed Aluminium", Metal Powder Report, vol. 38, n° 10, octobre 1983, n.p.

Schelleng, R.D., Gilman, P.S., et Donachie, S.J., "Aluminum-Magnesium-Lithium Forging Alloy Made by Mechanical Alloying", document présenté à la Seventeenth National Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE) Technical Conference, Kianesha Lake, NY, États-Unis, 22-24 octobre 1985, Covina, CA., SAMPE, 1985, p. 106-115.

Schreck, A.E., Lithium: A Materials Survey, United States Bureau of Mines, Information Circular 8053, 1961, 80 p.

Starke, E.A., Jr., et Sanders, T.H., Jr., (éd.), "Aluminum-Lithium Alloys II: Proceedings of the Second International Aluminum-Lithium Conference, Monterey, CA, April 12-14, 1983", Warrendale, PA, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 1984, 692 p.

**Ressources, approvisionnement et applications générales**

Alexander, J.H., "Lithium", American Ceramic Society Bulletin, vol. 64, n° 5, mai 1985, p. 660-661.

Alexander, J.H., "Lithium: Consumption Increases, as Doex Supply", Engineering and Mining Journal, vol. 186, n° 3, mars 1985, p. 123-124.

Alexander, J.H., "Lithium", Mining Engineering, vol. 37, n° 5, mai 1985, p. 475-476.

Bach, R.O., "Lithium: Current Applications in Science, Medicine and Technology", Toronto, John Wiley & Sons, 1985, 422 p.

Bach, R.O., et Wasson, J.R., "Lithium and Lithium Compounds", M. Grayson, (éd.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3e édition, vol. 14, 1981, Toronto, John Wiley and Sons, 1980, p. 448-476.

Le personnel, "From Chile and Foote, a Lithium Glut"?, Chemical Week, vol. 135, n° 3, 18 juillet 1984, p. 15-16.

Comer, E.P., "The Lithium Industry Today", Energy, vol. 3, n° 3 juin 1978, p. 237-240.

Ferrell, J.E., "Lithium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", Washington, DC, U.S. Bureau of Mines, n.d., 10 p.

Ferrell, J.E., "Lithium", Mineral Commodity Summaries 1985, Washington, DC, U.S. Bureau of Mines, 1986, p. 92-93.

Ferrell, J.E., "Lithium", U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook 1983, prétirage, Washington, DC, U.S. Bureau of Mines, n.d., 5 p.

Kesler, T.L., "Raw Lithium Supplies", Mining Engineering, vol. 30, n° 3, mars 1978, p. 283-284.

Kunasz, I.A., "Lithium in Brine" dans Coogan, A.H. et Hauber, L., (éd.), Proceedings of the Fifth Symposium on Salt, vol. 1, Cleveland, OH, États-Unis, Northern Ohio Geological Society, Inc., 1979, 485 p., p. 115-117.

Mulligan, R., "Lithium in Canada", Canadian Mining Journal, vol. 78, n° 4, avril 1978, p. 121-126.

National Lubricating Grease Institute (N.L.G.I.), "Production, Markets and Shipment Survey for Calenday Year 1983", Kansas City, MO, N.L.G.I., sous presse.

Nicholson, P., "Past and Future Development of the Market for Lithium in the World Aluminium Industry", Energy, vol. 3, n° 3, juin 1978, p. 247-253.

Olivier, C.A., et Nenniger, E.H., "Continuous Process for the Production of Lithium Carbonate", CIM Bulletin, vol. 72, n° 807, juillet 1979, p. 131-136.

Pearse, G.H.K., "Lithium", Annuaire des minéraux du Canada 1976, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada, 1979, p. 313-315.

Pennwalt Inc., "Lubrication Guide: Precision Lubricants", Oakville, Ontario, Pennwalt Inc., n.d., n.p.

Roskill Information Services Limited, "The Economics of Lithium": Third Edition, 1979, London, England, Roskill Information Services Limited, 1979, 131 p.

United States Geological Survey, Lithium: Nature's Lightest Metal, INF-75-27, Washington, DC, États-Unis Government Printing Office, n.d., 15 p.

Vine, J.D. (éd.), "Lithium Resources and Requirements by the Year 2000", United States Geological Survey, document professionnel n° 1005, Washington, DC, U.S. Government Printing Office, 1976, 162 p.

Wegener, J.E. "Profile on Bikita: Processed Petalite the New Priority", Industrial Minerals, n° 165, juin 1981, p. 51.